



TESIS TF092325

**ANALISIS PRODUKTIVITAS BIOGAS PADA
BIOREAKTOR TIPE *FIXED DOME* SNV
MENGUNAKAN MODEL MATEMATIS *MONOD
TYPE KINETIC***

AMINATUS SA'DIYAH

2412 201 001

Pembimbing :

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Dr. Ir. Sri Mulato, M.S.

PROGRAM STUDI S2

BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



TESIS TF092325

**ANALYSIS OF BIOGAS PRODUCTIVITY ON
BIOREACTOR TYPE FIXED DOME SNV USING
MONOD TYPE KINETIC MATHEMATICAL MODEL**

AMINATUS SA'DIYAH

2412 201 001

Supervisor :

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Dr. Ir. Sri Mulato, M.S.

MASTER PROGRAM

STUDY OF ENGINEERING INSTRUMENTATION INDUSTRY

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014

LEMBAR PENGESAHAN

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Aminatus Sa'diyah
Nrp. 2412201001

Tanggal Ujian : 14 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

(Pembimbing I)

NIP: 19761223 2005011 001

2. Dr. Ir. Sri Mulato, M.S.

(Pembimbing II)

NIP: -

3. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

(Penguji)

NIP: 19650309 1990021 001

4. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

(Penguji)

NIP: 19771127 2002121 002

5. Dr. Dr. Ir. Aulia SitiAisyah, M.T.

(Penguji)

NIP: 19660116 1989032 001

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

19640405 199002 1 001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya kepada Allah SWT, Tuhan sekalian alam atas segala hidayah dan inayahNya. Shalawat serta salam tetap mengalir kepada Rasulullah SAW junjungan umat. Dengan mengucap Nama Allah, Tuhan Sekalian Alam, tesis dengan judul **“Analisis Produktivitas Biogas Pada Bioreaktor Tipe *Fixed Dome* SNV Menggunakan Model Matematis *Monod Type Kinetic*”** penulis persembahkan kepada seluruh masyarakat Indonesia, para peneliti khususnya dibidang Energi Terbarukan, dan civitas akademik sesuai dengan disiplin ilmu maupun bidang ilmu yang lain tanpa terkecuali. Terimakasih penulis sampaikan terkhusus kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa, serta bantuan spiritual yang mengilhami untuk tetap semangat.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST. MT selaku pembimbing utama yang telah banyak memberikan masukan saran, nasehat, serta motivasi yang tak pernah habis sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini dengan baik.
3. Bapak Dr. Ir. Sri Mulato, MS. selaku co-pembimbing yang banyak memberikan nasehat dan saran baik teknis maupun penulisan.
4. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan serta Dr.Ir. Aulia S Aisjah, MT selaku Ketua Prodi S2 Teknik Fisika yang telah memberikan kemudahan, serta masukan yang membangun pada penulis.
5. Semua Dosen S2 Teknik Fisika atas semua ilmu yang telah diberikan pada penulis.
6. Segenap pengurus Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan, H. Hariyanto atas kepercayaan dan dukungannya, Solihin, ST selaku teknisi bioreaktor, serta delegasi BIRU atas kerjasamanya selama penelitian.
7. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia selaku sponsor yang telah memberikan dukungan material dan memberikan kepercayaan pada penulis dalam proses penelitian.
8. Semua sahabat S2 Teknik Fisika yang tergabung dalam EPICENTRUM yang telah banyak memberikan dukungan moral dan spiritual, motivasi, doa, serta pemikiran yang membuat inspirasi penulis tetap mengalir.

Penulis,

Aminatus Sa'diyah

ANALISIS PRODUKTIVITAS BIOGAS PADA BIOREAKTOR TIPE *FIXED DOME* SNV MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIS *MONOD TYPE KINETIC*

Nama Mahasiswa : Aminatus Sa'diyah

NRP : 2412201001

Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Co-Pembimbing : Dr. Ir. Sri Mulato, M.S.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara berkembang yang berpotensi terhadap perkembangan energi terbarukan, salah satunya adalah bioenergi. Bioenergi yang banyak dikembangkan di Indonesia adalah biogas melalui program *Indonesia Domestic Biogas Programme* (IDBP) terutama di Jawa Timur. Teknologi bioreaktor yang dikembangkan oleh IDBP melalui BIRU dan SNV adalah tipe *fixed dome*. Analisis mengenai produktivitas biogas pada bioreaktor dilakukan di wilayah Peternakan Sapi Perah Setia Kawan Nongkojajar Pasuruan yang bekerja sama dengan BIRU. Metode yang digunakan berupa pengambilan data sampling setiap 7 hari sekali selama dua bulan untuk mengetahui HRT [hr], volume gas yang dihasilkan [m^3], efektifitas, serta kandungan biogas yaitu CH_4 [%], CO_2 [%]. Data tersebut digunakan untuk mengetahui produktivitas dan efektifitas bioreaktor dan simulasi model matematis *monod type kinetic* untuk mengetahui laju pertumbuhan mikroba dan jumlah mikroba menggunakan iDynoMiCS v.1.2. Sehingga diketahui keadaan optimum bioreaktor tercapai jika nilai TS $16,9 \text{ kg/m}^3$, HRT pada hari ke 15, temperatur bioreaktor 23°C , volume biogas $3,6 \text{ m}^3$, masing-masing 67,6% CH_4 dan 29,4% CO_2 dengan efektifitas bioreaktor 0,8.

Kata kunci : produktivitas biogas, HRT, *monod type kinetic*, laju pertumbuhan mikroba

ANALYSIS OF BIOGAS PRODUCTIVITY ON BIOREACTOR TYPE FIXED DOME SNV USING MONOD TYPE KINETIC MATHEMATICAL MODEL

Student : Aminatus Sa'diyah
Student Identity Number : 2412201001
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Co-Supervisor : Dr. Ir. Sri Mulato, M.S.

ABSTRACT

Indonesia is a developing country endowed by various potential renewable energy resources. Among them is biogas which basically can be produced from the decomposition of biomass by the biochemical processes. Java is the most densely populated island in Indonesia and consumes almost 67% of the national energy supply. This study was carried out under supervised government and founded by IDBP (Indonesia Domestic Biogas Programme) for developing sustainable rural renewable energy supply. Many in-ground type of fixed dome biogas reactors have been built in the dairy production field owned by the Cooperative (KPSP) Setia Kawan Nongkojajar, Pasuruan East Java. An individual household of cooperative member was provided by a reactor of 8 m³ of substract. Every reactor was assembled by financial sharing mechanism between a farmer and a financial body. The main objective of the study was determine the effectiveness of the bioreactor in biogas production for knowing the consumption and electrification in rural area community. A batch feeding mechanism was applied using a feedstock composed proportionally from cow dung and water. The reactor was optimized in order to produce sufficient biogas production in terms of its quality [methane purity] and quantity [daily volume] to meet the energy requirement in the surrounding rural area. The result shows that the optimum productivity of biogas reached if the value of TS 16.9 kg/m³, HRT in 15 day, bioreactor temperature 23 °C, volume of biogas 3.6 m³, 67.6% CH₄ and 29.4% CO₂ with 0.8 of bioreactor effectivity

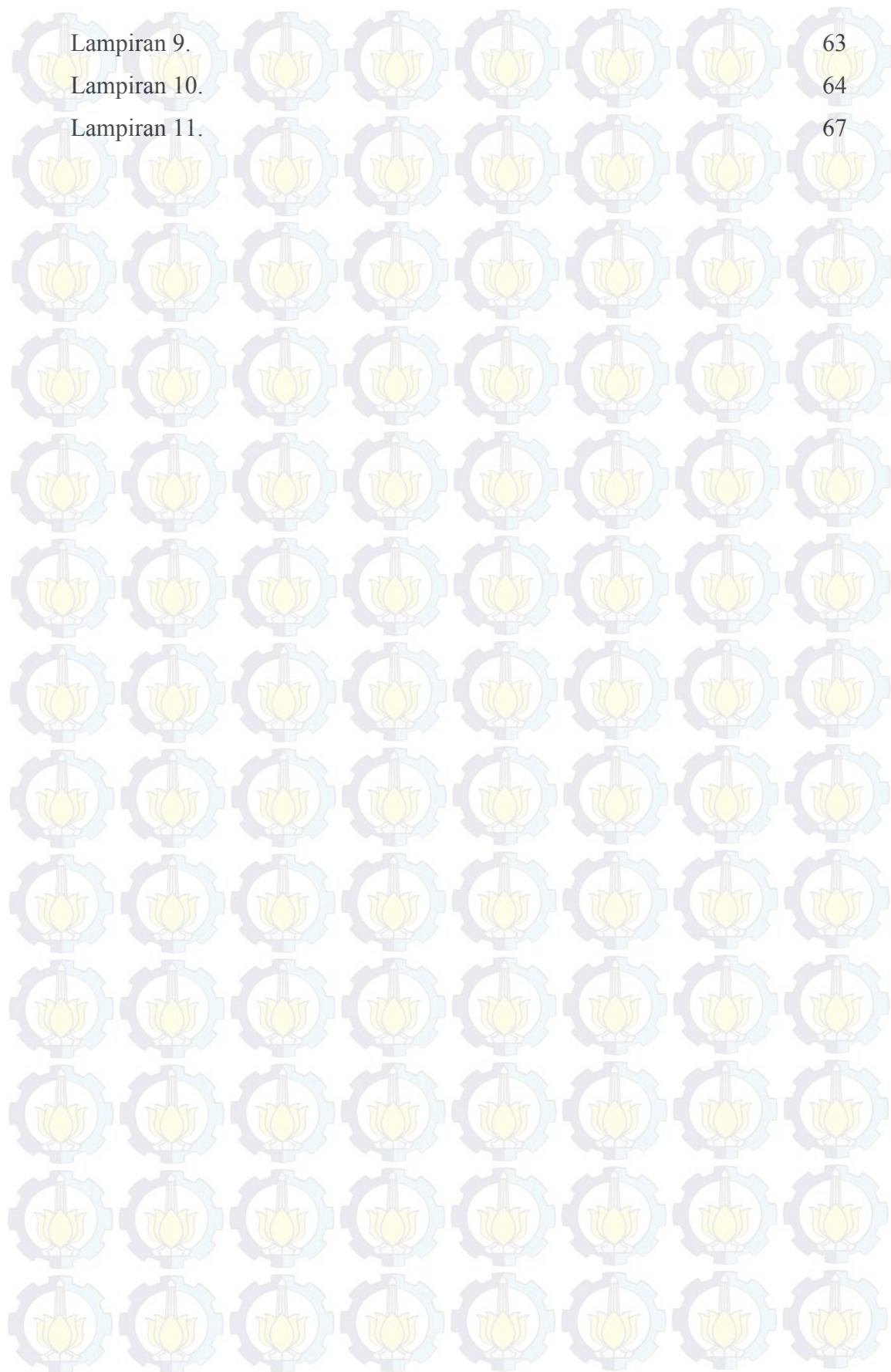
Keywords : biogas productivity, HRT, monod type kinetic, growth rate of microorganism

DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5. Hipotesa	4
1.6. Keluaran (<i>Output</i>)	4
1.7. Dampak (<i>Outcome</i>)	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Biogas	7
2.1.1. Substrat biogas	7
a. Hidrolisis	8
b. Acidogenesis	8
c. Asetogenesis	8
d. Methanogenesis	9
2.1.2. Kandungan Biogas	9
2.1.3. <i>Hydraulic Retention Time</i>	10
2.1.4. Peran, Manfaat dan Kegunaan Biogas	10
2.2. Profil KPSP Setia Kawan Nongkojajar	13
2.3. Bioreaktor	16
2.3.1. Mekanisme Konstruksi	19
2.4. Pemodelan Mikroba	19

2.5. IdynoMiCS	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Obyek Penelitian	27
3.2. Diagram Alir Penelitian	27
3.3. Studi Literatur	28
3.4. Rancangan Penelitian	28
3.4.1. Parameter Penelitian	28
3.4.2. Variabel	28
3.4.3. Model yang Digunakan	29
3.5. Langkah Penelitian	29
3.5.1. Simulasi	29
3.5.2. Eksperimen	30
3.6. Teknik Observasi	30
3.7. Penulisan Laporan	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Produksi Gas	33
4.2. Pengaruh Suhu	35
4.3. Efektivitas Bioreaktor	37
4.4. Pemodelan dengan iDynoMiCS v.1.2.	39
4.5. Kualitas Biogas	42
BAB 5. KESIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51
Lampiran 1.	52
Lampiran 2.	53
Lampiran 3.	54
Lampiran 4.	55
Lampiran 5.	56
Lampiran 6.	57
Lampiran 7.	58
Lampiran 8.	59

Lampiran 9.	63
Lampiran 10.	64
Lampiran 11.	67

A decorative background pattern consisting of a grid of lotus flowers and gears. The lotus flowers are yellow with green outlines, and the gears are light blue with yellow outlines. The pattern is repeated across the entire page.

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1. Kandungan Biogas	9
Tabel 2.2. Keuntungan Biogas	11
Tabel 2.3. Estimasi Pengurangan Emisi CO ₂	12
Tabel 2.4. Informasi Tentang Biodigester	13
Tabel 2.5. Biaya Konstruksi Bioreaktor	15
Tabel 2.6. Ukuran Bioreaktor IDBP	18
Tabel 2.7. Kandungan Bahan Kering dan Volume Gas Yang Dihasilkan Tiap Jenis Kotoran	24
Tabel 2.8. Konversi Energi Biogas	25
Tabel 4.1. Profil Bioreaktor	33
Tabel 4.2. Parameter Fisis Produksi Biogas	39
Tabel 4.3. Jumlah Koloni Mikroba dalam Ruang Bioreaktor	39
Tabel 4.4. Kadar Biogas	42

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1. Grafik Kegunaan Biogas	11
Gambar 2.2. Peta Wilayah Kecamatan Tuter Nongkojajar, Pasuruan	14
Gambar 2.3. Bioreaktor Tipe <i>Fixed Dome</i> SNV	16
Gambar 2.4. Desain Bioreaktor IDBP	17
Gambar 2.5. Skema Pemodelan Monod Kinetik	19
Gambar 2.6. Logo iDynoMiCS	25
Gambar 2.7. Pertumbuhan 2 Spesies Mikroba dalam Reaktor	26
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2. Titik Pengambilan Sampel Substrat dalam Bioreaktor	31
Gambar 4.1. Grafik Produktivitas Reaktor Lama	33
Gambar 4.2. Grafik Produktivitas Reaktor Baru	34
Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Produksi Biogas	35
Gambar 4.4. Pengaruh Suhu Reaktor (diukur dari inlet) terhadap Produksi Biogas	35
Gambar 4.5. Pengaruh Suhu Reaktor (diukur dari outlet) terhadap Produksi Biogas	36
Gambar 4.6. Grafik Efektifitas Bioreaktor Lama	37
Gambar 4.7. Grafik Efektifitas Bioreaktor Baru	38
Gambar 4.8. Jumlah Koloni Mikroba dalam Ruang Bioreaktor	41
Gambar 4.9. Laju Pertumbuhan Mikroba dalam Ruang Bioreaktor	41
Gambar 4.10. Grafik Kandungan Methan dan Karbondioksida dalam Ruang Bioreaktor	43

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang berpotensi terhadap perkembangan energi terbarukan, salah satunya adalah bioenergi (Hasan, 2012). Bioenergi yang sedang banyak dikaji oleh peneliti adalah biogas. Teknologi biogas telah berkembang sejak lama, namun aplikasinya sebagai sumber energi alternatif belum berkembang secara luas (Widodo, 2009). Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses biokimia berupa dekomposisi biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi (Bond, 2012). Pulau Jawa merupakan wilayah yang sangat berpotensi untuk mengembangkan teknologi biogas karena sebagian besar masyarakat bermata pencaharian sebagai petani atau peternak, dan sedikitnya 67% konsumsi biogas Indonesia berada di Jawa (IEO, 2010).

Indonesia mengembangkan dan mensosialisasikan teknologi biogas antara lain lewat program IDBP (*Indonesia Domestic Biogas Programme*) bekerjasama dengan SNV (*Netherlands Development Organisation*) dan Hivos. SNV di bidang energi terbarukan seperti biogas di negara-negara berkembang khususnya wilayah Asia-Afrika (Ghimire, 2012), sedangkan Hivos adalah sebuah organisasi yang khusus memberikan subsidi pada proses pengembangan teknologi terbarukan. IDBP juga membentuk sebuah organisasi dengan nama BIRU (Biogas Rumah) dalam tugasnya mensosialisasikan biogas ke masyarakat dengan bekerjasama dengan Koperasi sebagai media perantara. Dalam hal ini, KPSP Setia Kawan berlaku sebagai partner perantara yang menghubungkan BIRU ke masyarakat dengan menerapkan sistem koperasi untuk kesejahteraan anggota.

Pembangunan reaktor biogas memiliki dampak positif berupa tercukupinya kebutuhan energi masyarakat pedesaan skala rumah tangga, mengurangi pengeluaran rumah tangga pengguna untuk kebutuhan listrik dan bahan bakar, serta meningkatkan produksi pertanian dengan memanfaatkan ampas biogas sebagai pupuk alami. Namun penerapan teknologi ini juga menghadapi beberapa kendala yaitu kurangnya *technical expertise* yang mendampingi masyarakat pengguna biogas, reaktor biogas yang tidak berfungsi akibat bocor,

produksi biogas yang naik turun (fluktuatif), kurangnya perawatan akibat tidak didukung oleh data mengenai karakteristik reaktor, dan biaya konstruksi yang mahal menjadi suatu masalah yang harus segera dicari solusi tepat gunanya. Selain itu, sumber informasi berupa panduan teknis dan cara perawatan bioreaktor untuk pengguna dari lembaga terkait khususnya BIRU belum disertai data mengenai biogas secara akurat.

Dengan alasan tersebut, diperlukan suatu kajian dan analisis yang lebih terinci mengenai reaktor biogas (bioreaktor) dan penggunaan biogas skala rumah tangga sehingga membantu memberikan informasi kepada masyarakat khususnya pengguna biogas tentang karakteristik reaktor, produktifitas biogas, pemanfaatan, dampak bagi kesehatan dan lingkungan, serta analisis dari segi ekonomi dan sosial. Penelitian dilakukan dengan metode sampling tentang penerapan teknologi biogas di sebagian tempat di Propinsi Jawa Timur lewat *Joint Research Programme* bekerja sama dengan KPSP Setia Kawan Pasuruan dan BIRU, penelitian tentang efisiensi pembangunan bioreaktor dan penggunaan biogas dilakukan di wilayah kerja Koperasi Peternakan Sapi Perah Nongkojajar, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.

Penelitian mengenai kandungan kimiawi biogas di Indonesia dilakukan oleh Widodo dengan mengukur kadar gas metan yang dipengaruhi oleh C/N ratio bahan baku, dan konsentrasi BOD/COD (*Biological Oxygen Demand/Chemical Oxygen Demand*) (Widodo, 2009). Penelitian selanjutnya mengenai biogas dilakukan oleh Hasan (Hasan, 2012) dan Natsir (Natsir, 2009) mengenai analisis potensi biogas terhadap kemajuan ekonomi masyarakat Indonesia (CASINDO, 2009). Sehingga penelitian untuk mengetahui karakteristik bioreaktor maupun biogas agar dihasilkan suatu keadaan optimum untuk meningkatkan produksi biogas dapat memberikan sumbangan keilmuan untuk melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya.

Penelitian yang akan dilakukan meliputi penentuan produktivitas biogas dan efektifitas bioreaktor dalam menghasilkan biogas dengan bahan baku kotoran sapi menggunakan model matematis *monod type kinetic* berdasarkan data lapangan per satuan waktu tertentu (Muha, 2012) dan (Widodo, 2009), analisis jumlah mikroba dan laju pertumbuhan mikroba terhadap waktu yang berpengaruh

pada jumlah dan kualitas biogas yang dihasilkan (Krishania, 2013) dan (Lardon, 2011), mengetahui keadaan optimum suatu bioreaktor berdasarkan parameter dan variabel yang mempengaruhi produksi biogas.

Dari penelitian ini diharapkan menghasilkan informasi baru mengenai peningkatan produktivitas biogas berdasarkan studi lapangan dan analisis model matematis, serta rekomendasi untuk perawatan reaktor gas agar mengurangi kendala yang mungkin terjadi mengesampingkan dampak terhadap lingkungan serta perekonomian masyarakat.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana produktivitas biogas pada bioreaktor SNV tipe *fixed dome*?
2. Bagaimana pengaruh pertumbuhan mikroba dalam reaktor terhadap produksi biogas?
3. Bagaimana pengaruh keadaan optimum pada produksi biogas terhadap pemenuhan kebutuhan energi masyarakat skala rumah tangga?

1.3. Batasan Masalah

1. Bioreaktor yang akan diuji adalah tipe *fixed dome* SNV di wilayah Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan Nongkojajar Pasuruan dengan bahan baku kotoran sapi.
2. Kualitas biogas ditentukan berdasarkan kadar gas CH_4 , dan CO_2 yang dihasilkan oleh unit bioreaktor.
3. Model matematis yang akan digunakan berupa *monod-type kinetic* berdasarkan perkembangan mikroba dalam reaktor.

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui produktivitas biogas bioreaktor SNV tipe *fixed dome*.
2. Mengetahui pengaruh jumlah mikroba dalam ruang bioreaktor terhadap produksi biogas yang dihasilkan.
3. Mengetahui keadaan optimum biogas untuk menjaga agar produksi biogas dapat memenuhi kebutuhan masyarakat.

Manfaat yang bisa didapatkan adalah :

1. Diperoleh suatu informasi mengenai karakteristik biogas dan bioreaktor yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan minat masyarakat sehingga diharapkan dapat meningkatkan produksi biogas untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.
2. Dihasilkan rekomendasi bagi pengguna biogas tentang pemeliharaan dan perawatan reaktor agar produksi biogas tetap stabil dan aman, sehingga meningkatkan kemandirian bagi masyarakat pengguna.

1.5. Hipotesa

Hasil analisis sementara mengenai potensi biogas bagi masyarakat pedesaan khususnya peternak sapi perah di kawasan KPSP Setia Kawan Pasuruan menunjukkan bahwa bioreaktor yang terinstal menggunakan desain yang dikenalkan oleh SNV lewat program domestik BIRU yang belum diketahui karakteristik detailnya jika diinstal pada kondisi lingkungan Nongkojajar. Sehingga dengan adanya penelitian ini, akan diketahui parameter yang mempengaruhi produktivitas biogas. Produktivitas gas dalam bioreaktor dipengaruhi oleh mikroba aktif yang menguraikan substrat menjadi gas metan (CH_4), sementara aktivitas mikroba salah satunya dipengaruhi oleh suhu lingkungan (berhubungan dengan keadaan geografis tempat instalasi), sehingga semakin banyak jumlah mikroba aktif maka semakin cepat pula proses degradasi substrat. Hal ini akan memperpendek *Hidraulic Retention Time* (HRT). Campuran bahan baku (substrat) berupa kotoran sapi dan air (tanpa kotoran manusia) mampu menghasilkan biogas yang mencukupi kebutuhan sehari-hari, sehingga dimungkinkan untuk melakukan modifikasi pada bioreaktor (penghilangan toilet dan lubang digestat) agar mengurangi biaya konstruksi. Penghematan listrik dan gas sekaligus meningkatkan *income* masyarakat pengguna yang memanfaatkan biogas untuk keperluan bisnis skala *home industry* sebesar 20% .

1.6. Keluaran (*Output*)

Keluaran yang dihasilkan dari penelitian adalah grafik atau gambar hasil simulasi model matematis yang menyatakan hubungan efektivitas bioreaktor

terhadap produksi biogas, dan pertumbuhan mikroba terhadap produksi biogas pada kondisi lingkungan tertentu.

1.7. Dampak (*Outcome*)

Produksi biogas lebih tinggi dan stabil, peningkatan pendapatan bagi para petani khususnya pengguna, dan secara langsung berperan dalam mitigasi emisi gas CO₂.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biogas

Biogas merupakan energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan, serta memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi (Walekhwa, 2009). Salah satu pengembang biogas terbesar di dunia adalah SNV (*Netherlands Development Organisation*) lewat program BSP (*Biogas Support Programme*) dengan jangkauan operasi dikawasan Asia-Afrika. Hingga tahun 2009, jumlah bioreaktor yang telah diinstal sebanyak 205,762 khususnya di negara Nepal (Ghimire, 2012). Di Indonesia, SNV didanai oleh Hivos bekerjasama dengan Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) lewat program IDBP (*Indonesia Domestic Biogas Programme*) yang diwadahi dalam bentuk sebuah organisasi bernama BIRU (Biogas Rumah) sebagai pengawal kinerja SNV ke masyarakat (BIRU, 2010).

Biogas berasal dari hasil fermentasi anaerobik pada substrat berupa kotoran hewan [sapi] oleh mikroba dalam ruang bioreaktor. Proses pembentukan gas metana dilakukan oleh bakteri anaerob dengan reaksi biokimia berupa *hydrolisis*, *acidogenesis*, *asetogenesis*, dan *methanogenesis* (Purwandari, 2013). Komponen utama biogas adalah gas metana (CH_4).

2.1.1. Substrat Biogas

Komponen penting dalam pembentukan biogas adalah substrat yang tersusun dari senyawa organik [karbohidrat, protein dan lemak] dan air. Substrat merupakan media pertumbuhan mikroba metanogen penghasil metan. Mikroba penghasil gas metan dalam bioreaktor terdiri dari berbagai jenis mikroba dedigester (pengurai) yang mengubah bahan organik dalam substrat menjadi biogas. Biomass padat dalam substrat yang bisa diuraikan oleh mikroba menjadi biogas sejumlah 60%, sedangkan sisanya tersuspensi menjadi cairan kental yang disebut *sludge* [*slurry*].

a. Hidrolisis

Proses pembentukan biogas dalam bioreaktor diawali oleh hidrolisis. Proses ini terjadi secara ekstra seluler dimana bakteri *acidogenic* dan *hydrolitic* mengeluarkan enzim yang dapat mempercepat proses hidrolisis pada materi organik berstruktur kimiawi kompleks menjadi struktur sederhana (Weiland, 2010). Mikroba ini memanfaatkan oksigen yang terlarut dalam bahan baku. Melalui proses hidrolisis, senyawa berstruktur kimia kompleks seperti karbohidrat, lemak dan protein dipecah menjadi senyawa kimia sederhana berupa monomer dan dimer yang larut dalam air.

b. Acidogenesis

Substrat yang telah terhidrolisis kemudian dirombak oleh bakteri *acidogenic*. Hasilnya berupa asetat, hidrogen dan karbon dioksida yang selanjutnya digunakan oleh bakteri methanogenic untuk memproduksi metan dan karbon dioksida. Pada fase ini, terdapat berbagai macam bakteri *acidogen*, seperti enterobakteri, bakteriosida, asetobakteri dan eubakteri. Produk pada fase acidogenesis memiliki 2 bentuk yaitu fase cair dan gas. Senyawa asam rantai pendek hasil oksidasi monosakarida dan asam amino merupakan produk cair, sedangkan produk dalam bentuk gas yaitu amonia [NH₃], karbon dioksida [CO₂] dan hidrogen [H₂].

c. Asetogenesis

Hasil lain seperti alkohol dan *Volatile Fatty Acid* (VFA) dari proses acidogenesis akan dioksidasi oleh bakteri acetogenic (Karellas, 2010). Pada fase ini, dihasilkan asam asetat dan gas H₂ yang digunakan untuk membentuk gas metan. Pada fase acidogenesis telah dihasilkan sekitar 20% asam asetat dan 4% gas H₂. Pada lingkungan anaerobik, mikroba fakultatif mampu menguraikan asam lemak berantai karbon panjang seperti asam propionat dan butirat menjadi asam asetat dan gas H₂.

d. Methanogenesis

Methanogenesis merupakan fase akhir dari pembentukan biogas. Reaksi pada tahap ini melibatkan mikroba methanogen yang sensitif terhadap oksigen. Bakteri methanogen dalam proses methanogenesis terdiri dari tiga jenis yaitu hidrogenotrofik, metilotrofik dan asetotrofik (Strevett, 1995). Mikroba hidrogenotrofik memanfaatkan H_2 dan CO_2 sebagai reaktan pembentukan metan dengan memakan H_2 sehingga merangsang pembentukan asetat. Ketersediaan asetat ini akan menyuplai mikroba asetotrofik untuk menghasilkan metan dan melepaskan CO_2 . Sedangkan mikroba metilotrofik, menghasilkan gas metan dari senyawa berbasis metil seperti methanol [CH_3OH] dan metil alkohol [C_2H_5OH]. Dalam reaksi pembentukan metan, sekitar 70% metan dihasilkan oleh mikroba asetotrofik, sedangkan sisanya sebanyak 30% diproduksi oleh mikroba hidrogenotrofik (Mulato, 2013).

2.1.2 Kandungan Biogas

Semua fase pembentukan biogas membutuhkan mikroba sebagai agen proses. Mikroba aktif yang berpengaruh terhadap proses tersebut membutuhkan biomassa yang mengandung makanan dan nutrisi untuk media hidup dan pertumbuhan. Selain biomassa, mikroba anaerob dalam bioreaktor juga memerlukan air sebagai media. Secara umum, kandungan biogas yang dihasilkan oleh bioreaktor pada daerah tropis sesuai dengan data SNV terdiri dari 60-70% metan dan 30-40% karbondioksida (Ghimire, 2012). Sedangkan berdasarkan laporan IDBP, kadar biogas skala rumah tangga yang telah diinstal di berbagai wilayah Indonesia adalah :

Tabel 2.1. Kandungan Biogas

Kandungan Zat kimia	Simbol	Prosentase
Methan	CH_4	50-70 %
Karbon Dioksida	CO_2	30-40 %
Hydrogen	H_2	5-10 %
Nitrogen	N_2	1-2 %
Uap Air	H_2O	0,3 %
Hydrogen Sulfide	H_2S	< 0,1 %

Sumber : Buku BIRU (Biogas Rumah), 2010

Kadar gas metan yang dihasilkan oleh bioreaktor dipengaruhi oleh pertumbuhan mikroba sebagai agen produksi biogas. Parameter-parameter yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba diantaranya adalah pH, temperatur, rasio C/N, *Hydraulic Retention Time* (HRT), dan desain reaktor (Krishania, 2013). Parameter tersebut yang akan dioptimasi melalui variasi kandungan substrat yang dimasukkan dalam bioreaktor. Hal ini dilakukan untuk mencapai keadaan optimal sehingga diperoleh kandungan biogas dengan kadar metan yang tinggi dan volume yang maksimal.

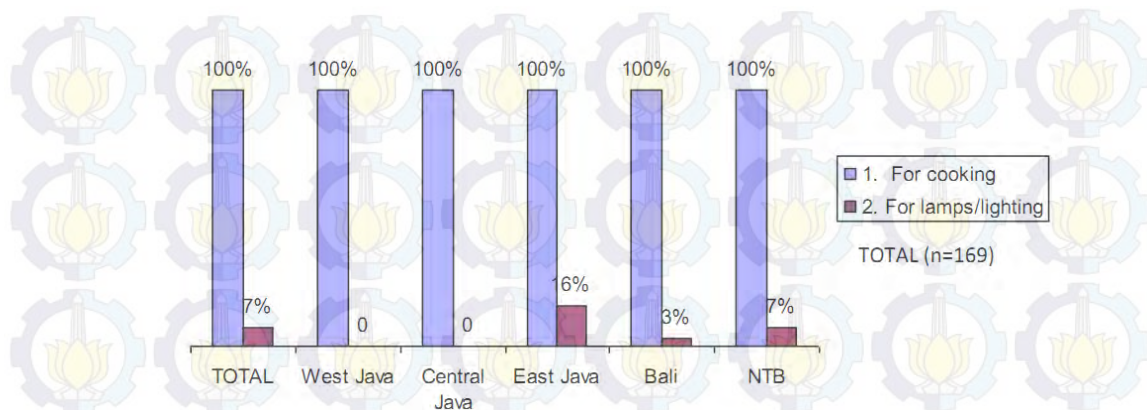
2.1.3. *Hydraulic Retention Time*

Waktu retensi hidrolis (*Hydraulic Retention Time*) merupakan waktu yang dibutuhkan material dalam bioreaktor sampai menghasilkan biogas atau HRT (Krishania, 2013).

Pada negara tropis, HRT bervariasi antara 30-50 hari tergantung pada kondisi cuaca (Singh, 1995). HRT sangat penting karena dapat menunjukkan lama waktu pertumbuhan bakteri dalam bioreaktor dan proses konversi material organik menjadi gas. Nilai HRT dapat berubah seiring dengan ketersediaan makanan, konsentrasi total solid (TS) dan temperatur dalam bioreaktor.

2.1.4. Peran, Manfaat, dan Kegunaan Biogas

Biogas memiliki peran yang penting dalam perkembangan ekonomi masyarakat skala rumah tangga sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Penggunaan biogas sebagai sumber energi alternatif dapat mengurangi emisi GHG dari CH₄ sebesar 53.1%, CO₂ sebesar 19.5 % dan N₂O 61.1% (Krishania, 2013). Pemanfaatan biogas skala rumah tangga di Indonesia sebagian besar digunakan untuk keperluan memasak dan penerangan seperti terlihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Grafik Kegunaan Biogas (JRI Research, 2011)

Dari grafik diatas terlihat bahwa hampir seluruh biogas dimanfaatkan untuk keperluan memasak dan hanya sekitar 7% digunakan sebagai penerangan. Hal ini disebabkan karena energi atau volume biogas yang dihasilkan kurang mencukupi kebutuhan energi jika dikonversi menjadi listrik, sehingga masyarakat masih menggunakan sumber energi dari PLN (JRI, 2011). Namun, Jawa Timur telah memanfaatkan biogas sedikitnya sebanyak 16% dari total penggunaan biogas untuk penerangan. Masyarakat yang bertempat tinggal di daerah pegunungan menjadi faktor utama sulitnya instalasi listrik didaerah.

Tabel 2.2. Keuntungan Biogas

Benefits of biogas plant.	
Reduction of workload (especially women)	1100 h per year (3 h per day)
Improvement of sanitation and health	<ul style="list-style-type: none"> —no indoor pollution —attachment of toilets to the biogas plant (for 72% of all plants) —improved dung management —no black soot in the house
Saving of firewood	2000 kg per year
Saving of kerosene	32 L per year
Reduction of emission	4900 kg of CO ₂ equivalent per year (as per 2005 CDM rules)
Increase of agricultural production	<ul style="list-style-type: none"> —availability of agricultural residue (1000 kg/year) and dried dung (500 kg per year) originally used for cooking —saving of chemical fertiliser (39 kg N, 19 kg P and 39 kg K per year)

(Sumber : SNV, 2011)

Selain penghematan waktu untuk memasak dan menghemat kayu bakar, penggunaan biogas dapat meningkatkan pendapatan masyarakat yang memiliki

usaha rumah tangga (*home industry*) seperti industri pembuatan kue dan makanan ringan.

Pengurangan emisi gas sisa pembakaran kayu berupa *smoke* (asap) juga memberikan dampak positif bagi pengguna biogas. Pembakaran gas metan yang minim CO₂ dapat mengurangi dampak negatif yang dapat mengganggu kesehatan. Sementara penghematan *kerosene* atau minyak tanah dapat membantu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil sekaligus menekan jumlah sumber daya yang kian hari kian menipis.

Tabel 2.3. Estimasi Pengurangan Emisi CO₂

Period	Annual estimate of emission reductions (tonnes CO ₂ e)
1 January 2011 – 31 December 2011	9,762
1 January 2012 – 31 December 2012	19,644
1 January 2013 – 31 December 2013	24,880
1 January 2014 – 31 December 2014	24,880
1 January 2015 – 31 December 2015	24,880
1 January 2016 – 31 December 2016	24,880

(Sumber : VPA-DD IDBP)

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan pemakaian biogas dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 9.762 ton pada tahun 2011 dan 19.644 ton pada tahun 2012 dengan jumlah bioreaktor yang terinstal sebanyak 8000 unit, sedangkan dalam jangka waktu antara tahun 2013-2016, diperkirakan tingkat pengurangan emisi akan mencapai 24,880 ton per tahunnya.

Selain kelebihan dan keuntungan penggunaan bioreaktor, terdapat kekurangan terutama disebabkan oleh minimnya sosialisasi dan peran serta pemerintah dalam program pengembangan ini, sehingga dari sekian banyak masyarakat pengguna, hanya sebagian kecil yang mengerti mekanisme bioreaktor. Seperti terlihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.4. Informasi Tentang Biodigester

Where did you first hear about the Biodigester – BIRU PROGRAM? (SHOW CARD - Multiple answers possible)						
	TOTAL	West Java	Central Java	East Java	Bali	NTB
	169	30	30	50	29	30
Representatives of cooperative/ CPO	50%	50%	47%	74%	59%	7%
Other cooperative members	27%	63%	10%	46%	0%	0%
Friends/relatives	20%	3%	37%	4%	48%	17%
Neighbors	15%	3%	23%	4%	24%	27%
Local authorities	7%	0%	17%	0%	17%	3%
Brochure	2%	3%	3%	0%	3%	0%
Demplot	2%	0%	0%	0%	0%	13%
BIRU staff	7%	0%	0%	0%	21%	17%
Farmer group	5%	0%	10%	0%	0%	20%
Stove maker	1%	0%	0%	0%	0%	7%

(Sumber : JRI, 2011)

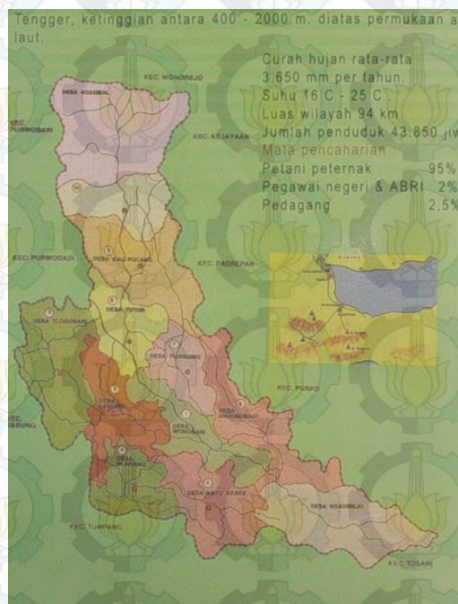
Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa sumber informasi tentang biogas dan bioreaktor ke masyarakat sangat kurang terutama daerah Jawa Timur. Masyarakat yang minim pengetahuan akan mekanisme bioreaktor, akan meningkatkan resiko malfungsi dan kerusakan pada bioreaktor. Sehingga para ilmuwan yang ahli di bidang energi terbarukan mulai melakukan berbagai penelitian dalam rangka turut serta memberikan informasi dan sosialisasi kepada masyarakat lewat publikasi dan pelatihan seperti yang telah dilakukan oleh Widodo dan Natsir pada tahun 2009 melalui program kerjasama dengan instansi terkait yang menjadi partner di wilayah kerja IDBP dan SNV.

2.2. Profil KPSP Setia Kawan Nongkojajar

Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan merupakan sebuah lembaga yang mengawal masyarakat Nongkojajar di bidang usaha peternakan khususnya sapi perah. Dirintis pada tahun 1911 sebagai usaha peternakan milik Belanda, dan disahkan menjadi KPSP Setia Kawan pada tahun 2003 dengan berbadan hukum koperasi. KPSP bekerja sama dengan berbagai perusahaan untuk meningkatkan mutu peternakan, diantaranya PT. Nestle di bidang produksi susu,

dan SNV di bidang produksi biogas melalui program IDBP yang dilaksanakan oleh BIRU dan Hivos.

Wilayah kerja KPSP Setia Kawan meliputi Kecamatan Tuter Nongkojajar yang terdiri dari 12 desa yaitu Desa Wonosari, Desa Gendro, Desa Tlogosari, Desa Kayukebek, Desa Andonosari, Desa Kalipucang, Desa Blarang, Desa Pungging, Desa Sumberpitu, Desa Ngembal, Desa Ngadirejo, Desa Tuter termasuk daerah tingkat II Pasuruan, kantor berkedudukan di Desa Wonosari Kecamatan Tuter Nongkojajar terletak di lereng sebelah barat pegunungan Tengger, ketinggian antara 400-2000 m diatas permukaan laut.



Gambar 2.2. Peta Wilayah Kecamatan Tuter Nongkojajar, Pasuruan (Sumber : Dokumen KPSP, 2013)

Berdasarkan Gambar 2.2, Kecamatan Tuter atau lebih dikenal dengan Nongkojajar memiliki luas wilayah 94 km, ketinggian 400-2000 m di atas permukaan laut, dengan curah hujan 3.650 mm/tahun, dan suhu berkisar antara 16-25°C. Sedangkan mata pencaharian penduduk sebagian besar adalah petani dan peternak sekitar 95%, selebihnya adalah pedagang dan pegawai. Keadaan tanah berbatu dan berada di area kaki gunung Bromo. Terdapat beberapa daerah yang sulit dijangkau dengan keadaan penduduk minim fasilitas terutama energi (listrik dan gas). Dengan keadaan demikian, maka perkembangan biogas sebagai energi alternatif pengganti gas dan listrik di daerah Nongkojajar mengalami peningkatan

yang pesat dari tahun ke tahun. Dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun, jumlah bioreaktor yang terinstal di Nongkojajar sebanyak 756 per Desember 2012.

Perkembangan bioreaktor yang sangat cepat di daerah Nongkojajar tak lepas dari pengaruh KPSP yang aktif mengadakan sosialisasi tentang peran biogas sebagai energi alternatif untuk membantu mencukupi kebutuhan energi khususnya bagi masyarakat di daerah yang sulit dijangkau. Selain itu dengan adanya bantuan dana dari Hivos lewat BIRU, dapat meringankan biaya konstruksi yang harus ditanggung oleh masyarakat pengguna. Berikut adalah tabel biaya instalasi bioreaktor berdasarkan ukuran dan subsidi yang diberikan pada masyarakat :

Tabel 2.5. Biaya Konstruksi Bioreaktor

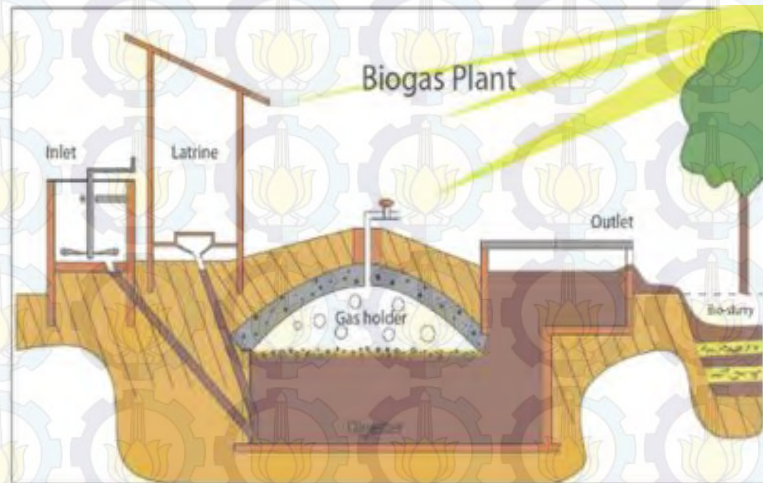
Ukuran	Total Biaya Konstruksi (Rp)	Subsidi (Rp)	Jumlah yang harus dibayar (Rp)	Jumlah angsuran per 10 hari (Rp)	Lama Waktu Pelunasan (Tahun)
4 m ³	4.720.000	2.000.000	2.720.000	30.000	2,5
6 m ³	5.290.000	2.000.000	3.290.000	34.500	2,6
8 m ³	5.920.000	2.000.000	3.920.000	42.000	2,6
10 m ³	6.890.000	2.000.000	4.890.000	53.000	2,6
12 m ³	7.400.000	2.000.000	5.400.000	60.000	2,5

(Sumber : Buku BIRU, 2010)

Total biaya konstruksi yang ditawarkan oleh BIRU berkisar antara 4,7-7,4 juta Rupiah tergantung ukuran bioreaktor. Subsidi yang diberikan oleh Hivos sebesar 2 juta Rupiah untuk masing-masing ukuran bioreaktor. Sehingga jumlah angsuran yang harus dilunasi oleh masyarakat pengguna adalah selisih biaya dengan subsidi. Namun dengan adanya kerjasama BIRU dengan KPSP, maka pihak Koperasi memberikan keringanan pada proses pelunasan berupa angsuran yang dibayar oleh masyarakat setiap 10 hari melalui penyeteroran susu. Selain mendapatkan tambahan pendapatan dari hasil sisa penyeteroran susu yang dipotong angsuran, masyarakat tidak perlu lagi mencari kayu bakar sebagai alat memasak, karena biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk memasak, penerangan, dan dapat meningkatkan taraf kesehatan dengan berkurangnya emisi gas CO₂ hasil dari pembakaran.

2.3 Bioreaktor

Bioreaktor yang terinstal di Nongkojajar Pasuruan adalah bioreaktor tipe *fixed dome* atau kubah tetap. Tipe *fixed dome* yang dikembangkan oleh SNV telah diinstal sebelumnya di negara Nepal lewat program BSP (*Biogas Support Programme*) sejak tahun 1994 (Bajgain, 1994).

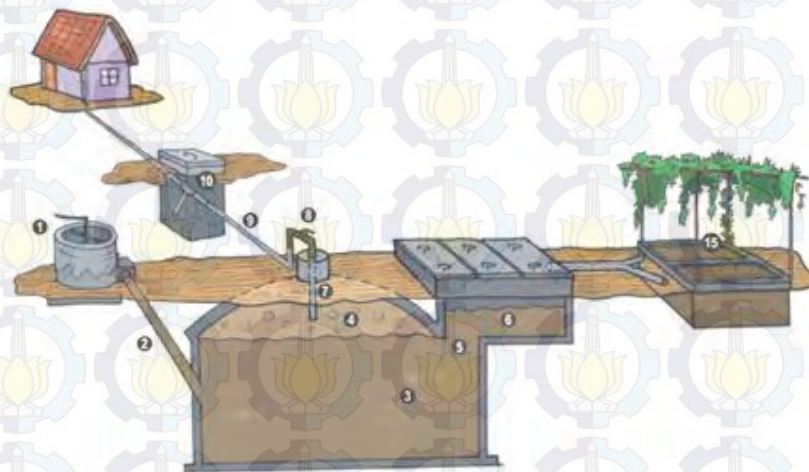


Gambar 2.3. Bioreaktor Tipe *Fixed Dome* SNV (Ghimire, 2011)

Gambar 2.3. merupakan desain bioreaktor SNV dengan tipe *fixed dome* yang dikembangkan di berbagai negara Asia dan Afrika. Tipe *fixed dome* merupakan desain bioreaktor sederhana yang sesuai dengan keadaan ekonomis maupun lingkungan masyarakat. Sasaran utama pengguna bioreaktor tipe ini adalah petani dan peternak (selanjutnya disebut pengguna) yang memiliki hewan ternak sapi dan lahan pertanian (Natsir, 2009). Pembangunan bioreaktor ini didanai sebagian oleh Hivos dan dilaksanakan oleh SNV sebagai CPO (*Construction Partner Organization*) yang membangun desain konstruksi dan ditetapkan oleh pemerintah Nepal (Lampiran 1).

Desain bioreaktor SNV di Nepal secara umum terdiri dari dua masukan (*inlet*) dan satu keluaran (*outlet*). Inlet terdiri dari dua jalur pipa yang masing-masing berpangkal pada *mixer* untuk masukan kotoran hewan dan *latrine* (toilet) untuk masukan dari kotoran manusia. Tubuh bioreaktor atau biasa disebut dengan tangki pencernaan (*digester*) berbentuk tabung silinder dengan diameter antara 4-6 m dan kedalaman antara 3-4 bervariasi tergantung ukuran bioreaktor yang diinstal. *Gas holder* merupakan ruang penampung gas hasil penguraian dari

mikroba methanogen dan dibawahnya merupakan tempat terjadinya penguraian yang terdiri dari campuran substrat padat dan cair. Keluaran (*outlet*) terdiri dari *manhole* dan pintu keluaran sebagai jalur *bioslurry* atau *sludge*. Jalur keluaran biogas terdapat pada puncak kubah, berupa katup pipa gas utama yang berfungsi menyalurkan biogas yang dihasilkan oleh *digester* menuju peralatan rumah tangga (BSP Nepal, 1994).



Gambar 2.4. Desain Bioreaktor IDBP, (BIRU, 2010)

Bioreaktor tipe *fixed dome* yang terinstal di Indonesia, khususnya daerah Pasuruan mengikuti desain yang ditetapkan oleh IDBP, terdiri dari :

1. Inlet (tangki pencampur)
2. Pipa inlet
3. Digester
4. Kubah
5. Manhole
6. Outlet dan overflow
7. Katup gas utama
9. Saluran pipa
10. Waterdrain
11. Pengukuran Tekanan
12. Keran gas
13. Kompor gas

14. Lampu

15. Lubang bioslurry

Desain bioreaktor Indonesia yang ditetapkan oleh IDBP mengadopsi model tipe *fixed dome* SNV (lampiran 2) dengan karakteristik sebagai berikut :

Tabel 2.6. Ukuran Bioreaktor IDBP

Kapasitas tempat pengolahan (m^3)	Produksi gas per hari (m^3)	Kotoran hewan yang dibutuhkan per hari (kg)	Air yang dibutuhkan per hari (lt)	Jumlah ternak yang dibutuhkan
4	0,8-1,6	20-40	20-40	3-4
6	1,6-2,4	40-60	40-60	5-6
8	2,4-3,2	60-80	60-80	7-8
10	3,2-4,2	80-100	80-100	9-10
12	4,2-4,8	100-200	100-200	11-12

(Sumber : Buku BIRU, 2010)

Bioreaktor yang dikembangkan oleh SNV di Indonesia hanya memiliki 5 variasi ukuran. Hal ini berkaitan dengan sasaran konstruksi yaitu pengguna yang rata-rata adalah petani atau peternak skala kecil/rumah tangga. Wilayah Jawa Timur, 100% pengguna biogas dari SNV memanfaatkan kotoran sapi sebagai bahan baku utama (JRI, 2011). Hal ini disebabkan karena IDBP membuka wilayah kerja SNV di daerah peternakan penghasil susu seperti di Nongkojajar, Pasuruan.

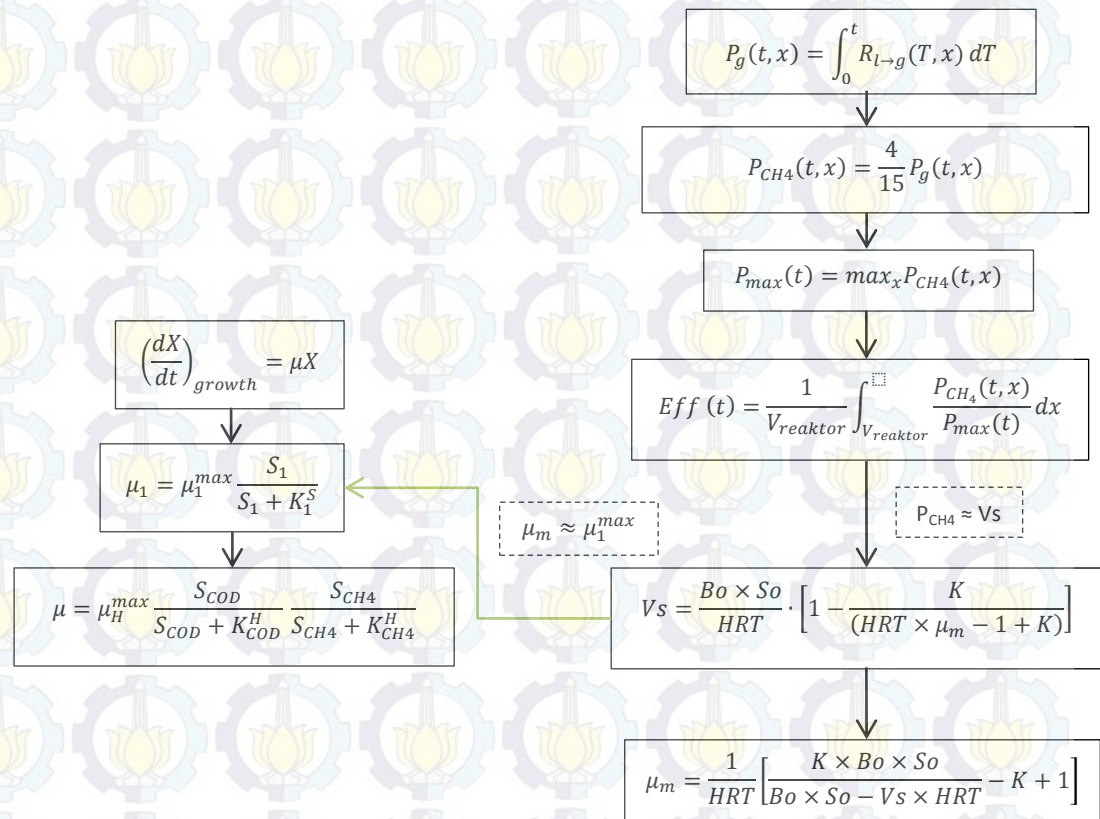
Ukuran dan dimensi reaktor biogas ditentukan berdasarkan jangka waktu penyimpanan 50 hari dan 60% penyimpanan gas. Bahan baku segar yang diisikan ke dalam reaktor harus dapat menampung 60% gas yang diproduksi dalam waktu 24 jam. Ukuran reaktor biogas diputuskan berdasarkan jumlah bahan baku harian yang tersedia. Sebelum memutuskan ukuran reaktor yang akan dipasang, seluruh kotoran hewan harus dikumpulkan kemudian ditimbang minimal sekurang-kurangnya selama 1 minggu untuk mengetahui seberapa banyak ketersediaan bahan baku setiap harinya. Ukuran yang ditetapkan berdasarkan kebutuhan gas berkisar antara 0,33-0,40 gas per orang per hari (BIRU, 2010).

2.3.1 Mekanisme Konstruksi

Pembangunan bioreaktor terdiri dari tiga tahap yaitu tahap pemilihan bahan material konstruksi, proses pembangunan bioreaktor, dan proses perawatan. Reaktor biogas tidak akan berfungsi baik walaupun rancangannya benar dan kinerja tukang sangat baik. Bahan yang berkualitas rendah juga tidak akan menghasilkan reaktor biogas yang bermutu tinggi. Pembangunan bioreaktor mengikuti standar operasional BIRU (BIRU, 2010).

2.4. Pemodelan Mikroba

Model matematis untuk merumuskan pertumbuhan mikroba dengan Monod Type Kinetic dapat dituliskan dalam bentuk skematis seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema Pemodelan Monod Kinetic

Tahap pemodelan mikroba tergantung pada fenomena pertumbuhan dan pembelahan agen dan produksi biomassa (Lardon, 2011). Parameter yang menjadi kunci adalah aktivitas setiap agen mikroba. Aktivitas tersebut berupa fungsi

keadaan lingkungan dan keadaan genetis agen mikroba tertentu. Aktivitas (μ) agen mikroba dikomputasikan setiap waktu (t) untuk menentukan biomass yang dihasilkan (dX). Komputasi aktivitas dapat ditentukan dengan beberapa model diantaranya : Zero atau First order Kinetic, Monod Kinetic, dan Haldane. Dalam pemodelan ini, pemodelan yang berbeda dapat digunakan tanpa mengubah arsitektur dari sistem agen mikroba.

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_{growth} = \mu X$$

Secara paralel, setiap agen mikroba kehilangan kuantitas sejumlah γ biomass. Diasumsikan bahwa kuantitas tersebut merupakan fungsi posisi dalam ruang biofilm (x), level tekanan hidrodinamik diestimasi dengan *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada reaktor dengan konstanta γ^o . Konstanta ini ditentukan untuk menyesuaikan pembelahan dan produksi agen dengan pemodelan umum kesetimbangan massa.

$$\gamma(x) = \gamma^o \frac{x}{HRT} \quad (2.2)$$

Penjumlahan produksi biomass dan pembelahan biomassa adalah total produksi dari biomass, seperti persamaan :

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - \gamma)X \quad (2.3)$$

Keterangan :

dX : jumlah biomass dalam substrat [kg]

μ : jumlah mikroba dalam substrat [fg]

γ : jumlah biomass yang terdegradasi [fg]

HRT : *Hydraulic Retention Time* [day]

γ^o : konstanta kesetimbangan massa []

t : waktu [day]

Tujuan menentukan jumlah total produksi biomass adalah untuk membatasi massa agen mikroba dan menjaga jumlah koloni mikroba dalam ruang reaktor :

- a. jika biomass yang dibuat tidak dapat dialokasikan pada agen, maka akan ditransfer pada agen lain yang berdekatan.
- b. jika tidak ada agen lain yang berdekatan, agen akan membentuk agen baru pada ruang yang masih kosong.
- c. jika agen berdekatan telah jenuh (saturasi), biomass dianggap tidak ada oleh model.

Berikut adalah keadaan yang harus dipenuhi atau kondisi batas dalam ruang biofilm sebagai tempat aktivitas agen mikroba dalam pembentukan biomass.

Model ini digunakan untuk mensimulasikan aktivitas dinamik agen mikroba pada *fixed-bed reactor* (Steyer et al, 2001). Model kesetimbangan massa telah divalidasi dengan model Bernard (Bernard, 2001). Model ini mendeskripsikan tentang fermentasi anaerobik dalam 2 tahap, tahap asetogenetik yang mengubah karbon organik menjadi *Volatile Fatty Acid* (VFA) dan tahap methanogenesis yang mengubah VFA menjadi biogas membentuk CH₄ dan CO₂.

Sehingga dua agen mikroba telah terbentuk, masing-masing adalah 'Biofilm_Aceto' dan 'Biofilm_Methano'. Sesuai dengan Bernard (Bernard, 2001), hubungan antara kedua tahap tersebut diwakili oleh Persamaan Monod dan Haldane :

$$\mu_1 = \mu_1^{max} \frac{S_1}{S_1 + K_1^S} \quad (2.4)$$

$$\mu_2 = \mu_2^{max} \frac{S_2}{S_2 + K_2^S + \left(\frac{S_2}{K_2^S} \right)^2} \quad (2.5)$$

Keterangan :

μ_1 : jumlah mikroba dalam reaktor (dalam monod kinetic), [fg]

μ_2 : jumlah mikroba dalam reaktor (dalam Haldane), [fg]

S_1 : jumlah substrat dalam reaktor [kg]

S_2 : jumlah Volatile Fatty Acid dalam substrat [kg]

μ_1^{max}, μ_2^{max} : Laju pertumbuhan maksimum mikroorganisme [g/hari]

K : Koefisien kinetik []

Model Monod merupakan pemodelan yang dibatasi oleh jumlah substrat dalam reaktor (S_1), sedangkan model Haldane dibatasi oleh faktor inhibitor pada VFA (S_2) dimana μ_1^{max} dan μ_2^{max} masing-masing adalah laju maksimum pertumbuhan mikroorganisme dalam ruang reaktor. Dalam Monod Kinetic, terdapat dua fase aktivitas agen mikroba yang mewakili pertumbuhan agen, yaitu fase biomass dan solute yang merupakan fungsi dari penjumlahan kedua fase tersebut (Lardon, 2011).

$$\mu = \mu_H^{max} \frac{S_{COD}}{S_{COD} + K_{COD}^H} \frac{S_{CH_4}}{S_{CH_4} + K_{CH_4}^H} \quad (2.6)$$

Untuk menentukan nilai μ_H^{max} , digunakan persamaan produksi biogas (Gunnerson & Stuckey, 1986), dimana $\mu_H^{max} = \mu_m$,

$$Vs = \frac{Bo \times So}{HRT} \cdot \left[1 - \frac{K}{(HRT \times \mu_m - 1 + K)} \right] \quad (2.7)$$

atau

$$\mu_m = \frac{1}{HRT} \left[\frac{K \times Bo \times So}{Bo \times So - Vs \times HRT} - K + 1 \right] \quad (2.8)$$

Dengan

$$K = 0.8 + 0.0016 \cdot e^{0.06 \cdot So} \quad (2.9)$$

Keterangan :

- Vs : *Specific yield* (kapasitas volumetrik produksi gas metana, m³/hari/m³ reaktor)
- Bo : Kapasitas produksi gas metana tertinggi, dalam m³ gas metana/kg *Volatile solid* yang ditambahkan
- So : Konsentrasi *volatile solid* didalam input material , [kg/m³]
- HRT : *Hydraulic Retention Time*, [hari]
- K : Koefisien kinetik, []
- μ_m : Laju pertumbuhan maksimum dari mikroorganisme, [g/hari]

Dalam perumusan Gunnerson Stuckey, nilai μ_m merupakan laju maksimum pertumbuhan mikroba dalam ruang reaktor. Koefisien kinetik (K) merupakan fungsi eksponensial dari jumlah substrat (So) sebagai komponen utama pembentukan biomass. Sedangkan *specific yield* (Vs) merupakan fungsi

dari total substrat yang terdegradasi dalam ruang reaktor terhadap laju maksimum agen mikroba dan waktu retensi hidrolik (HRT), selanjutnya disebut sebagai volume gas yang diproduksi oleh unit reaktor. Nilai μ_m yang didapatkan dari persamaan ini, akan digunakan dalam pemodelan dengan monod kinetic pada iDynoMiCS.

Sedangkan untuk menentukan kemampuan reaktor biogas dalam memproduksi gas, dapat digunakan persamaan efektifitas pada fase solute (Muha, 2012). Produksi gas yang terakumulasi dalam ruang reaktor dirumuskan

$$P_g(t, x) = \int_0^t R_{l \rightarrow g}(T, x) dT \quad (2.10)$$

$$= \int_0^t (R_{AC \rightarrow CO_2}(T, x) + R_{AC \rightarrow CH_4}(T, x)) dT \quad (2.11)$$

Produksi gas terakumulasi $P_g(t, x)$ dirumuskan sebagai fungsi integral dari penjumlahan dua fase pembentukan methan dan karbon dioksida terhadap waktu (t) dalam ruang reaktor (x). Sedangkan produksi methan terakumulasi P_{CH_4} , ditentukan dengan

$$P_{CH_4}(t, x) = \frac{4}{15} P_g(t, x) = \int_0^t R_{AC \rightarrow CH_4}(T, x) dT \quad (2.12)$$

Untuk menentukan efektivitas reaktor, terlebih dahulu ditentukan jumlah maksimum substrat yang menjadi methan dalam ruang reaktor.

$$P_{max}(t) = \max_x P_{CH_4}(t, x) \quad (2.13)$$

$$Eff(t) = \frac{1}{V_{reaktor}} \int_{V_{reaktor}} \frac{P_{CH_4}(t, x)}{P_{max}(t)} dx \quad (2.14)$$

Keterangan:

$P_g(t, x)$: Produksi gas yang terakumulasi dalam reaktor [m^3]

$R_{l \rightarrow g}$: substrat yang terbentuk dari fase liquid menjadi gas [l]

$R_{AC \rightarrow CO_2}$: jumlah karbon dioksida dalam substrat [%]

$R_{AC \rightarrow CH_4}$: jumlah methan dalam substrat [%]

P_{CH_4} : produk methan yang dihasilkan [m^3/day]

P_{max} : produksi metan maksimum [m^3]

x : volume reaktor [m^3]

t : waktu [day]

Efektivitas reaktor $Eff(t)$ merupakan fungsi dari produksi metan terakumulasi $P_{CH_4}(t, x)$ dalam ruang reaktor setiap hari terhadap jumlah maksimum produksi metan yang dihasilkan $P_{max}(t)$ pada ruang reaktor ($V_{reaktor}$).

Berikut adalah tabel konversi kotoran sapi menjadi biogas :

Tabel 2.7. Kandungan Bahan Kering dan Volume Gas yang Dihasilkan Tiap Jenis Kotoran

Jenis	Banyak Tinja (Kg/hari)	Kandungan Bahan Kering-BK (%)	Biogas yang dihasilkan ($m^3/kg.BK$)
Gajah	30	18	0,018-0,025
Sapi/Kerbau	25-30	20	0,023-0,040
Kambing/Domba	1,13	26	0,040-0,059
Ayam	0,18	28	0,065-0,116
Itik	0,34	38	0,065-0,116
Babi	7	9	0,04-0,059
Manusia	0,25-0,4	23	0,020-0,028

(Sumber : Balai Besar Perkembangan Mekanisasi Pertanian Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian, 2008)

Perhitungan total solid (TS) atau berat kering (BK) dalam kotoran sapi menggunakan rumus (Riliandi, 2010) :

$$\text{Jumlah kotoran (kg/hari)} \times 0,2 = \text{volume berat kering (kg.BK)} \quad (2.15)$$

Sedangkan untuk menghitung potensi produksi biogas menggunakan rumus :

$$\text{Jumlah BK (kg.BK)} \times 0,04 = \text{Volume gas (m}^3\text{)} \quad (2.16)$$

Parameter awal yang diketahui :

- Produksi kotoran segar per ekor sapi/hari : 20-30 kg
- 1 kg total solid (TS) menghasilkan biogas 250 liter
- Berat total solid (TS) : 0,18 berat kotoran basah
- Nilai kalor gas bio : $4,6 \text{ kwh/m}^3$

(e). Suhu pencernaan optimal : 35°C (Widodo, 2006) dan (Riliandi, 2011)

Sedangkan untuk memperoleh angka dalam satuan listrik (kWh), digunakan perhitungan berdasarkan tabel konversi sebagai berikut :

Tabel 2.8. Konversi Energi Biogas

Ukuran reaktor m ³	Jumlah biogas yang dihasilkan (lt/hari)	Konversi energi ke satuan daya listrik (kWh)	Lama waktu penggunaan lampu gas (h)	Konversi energi ke skala manometer (lt/cm)
4	1200	7,32	7,38	60
6	1800	10,98	11,11	90
8	2400	14,64	14,76	120
10	3000	18,3	18,46	150
12	3600	21,96	22,15	180

(Sumber : Buku BIRU&data lapangan)

2.5. iDynoMiCS

iDynoMiCS, kepanjangan dari *individual-Based Dynamics of Microbial Communities Simulator*, merupakan sebuah paket tools gratis yang dikembangkan oleh Laboratorium *Bioscience* Kreft (Kreft Lab) Universitas Birmingham, Inggris. Program iDynoMiCS khusus untuk mensimulasikan pertumbuhan mikroorganisme berdasarkan model matematis diantaranya *monod type kinetic*, *chemostat*, dan faktor reaksi pertumbuhan. Program ini dirilis pada Juni 2009 dengan developer team dari 6 Universitas di berbagai negara dan telah berhasil menciptakan versi stabilnya pada Juni 2013 dengan iDynoMiCS versi 1.2.



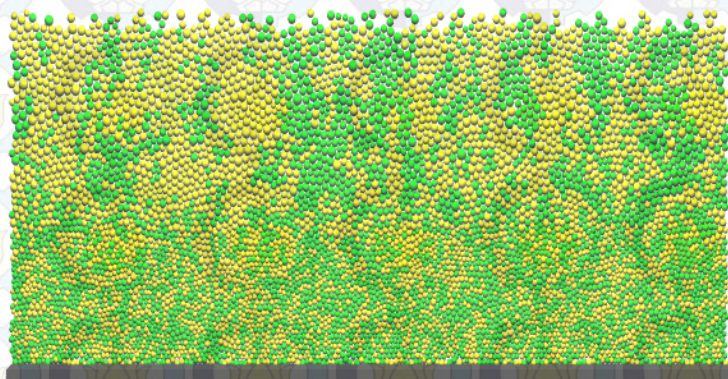
iDynoMiCS: individual-based Dynamics of Microbial Communities Simulator

Gambar 2.6. Logo iDynomiCS

Kelebihan program iDynoMiCS salah satunya adalah *open source*, dan dapat dijalankan dalam 3 bahasa yaitu Matlab, Eclipse, dan Python. Kelebihan

lainnya adalah mampu menghasilkan grafik 2 dimensi maupun 3 dimensi (bundling POV-Ray) sehingga lebih mudah dipahami. Selain itu, iDynoMiCS merupakan sebuah paket/tools yang dapat membantu memecahkan persamaan analitik tanpa harus menurunkan dengan perhitungan manual.

Berikut adalah salah satu contoh hasil simulasi pertumbuhan mikroba menggunakan iDynoMiCS (Lardon, 2011).



Gambar 2.7. Pertumbuhan 2 Spesies Mikroba dalam Reaktor

Dari gambar diatas dapat terlihat dua warna yang berbeda (hijau dan kuning), menunjukkan bahwa terdapat 2 spesies yang berbeda dari suatu mikroba.

Setiap lingkaran mewakili koloni mikroba dengan rasio $1 : 10^5$ spesies. 1 spesies memiliki massa 1 femtogram (fg) atau setara dengan 10^{-15} gr.

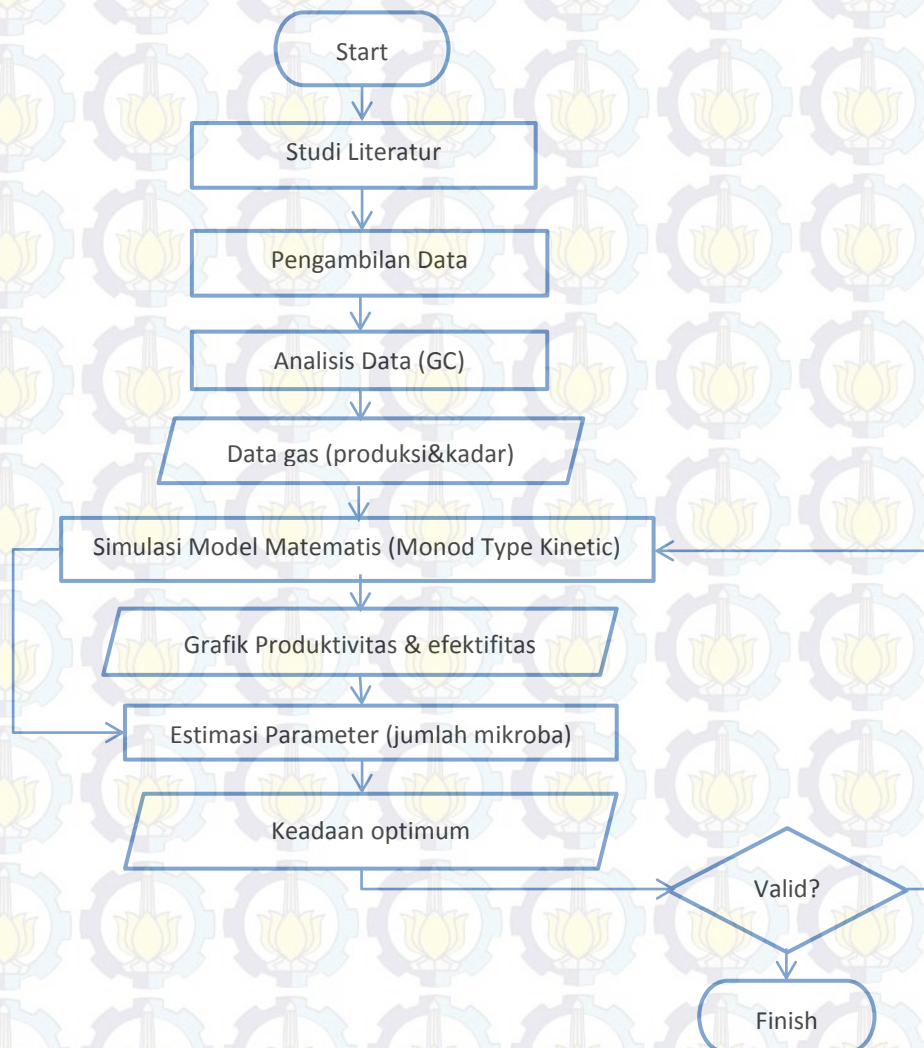
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Obyek Penelitian

Objek penelitian ini menitikberatkan pada bioreaktor tipe *fixed dome* yang dikembangkan oleh SNV di Indonesia (Gambar 2.1), dimana desain yang digunakan berasal dari Nepal. Terdapat dua inlet pada desain bioreaktor, sehingga perlu dilakukan analisis tentang kesesuaian dan efektifitas bioreaktor tipe *fixed dome* jika dipasang di Indonesia.

3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3. Studi Literatur

Sebagai acuan penelitian, digunakan beberapa pustaka dari jurnal dan penelitian sebelumnya mengenai model bioreaktor, analisis performansi (Widodo, 2009) dan (Muha, 2012), model matematis (Gholamifard, 2008) dan (Lardon, 2011), proses biokimia dalam bioreaktor (Krishania, 2013) tipe *fixed dome* SNV. Selanjutnya literatur tersebut digunakan sebagai acuan untuk menyusun kerangka penelitian atau rancangan observasi yang akan dilakukan dilapangan maupun di laboratorium. Hal ini bertujuan agar data yang diperoleh tervalidasi.

3.4. Rancangan penelitian

Terdapat 3 hal utama yang perlu dikaji dalam penelitian ini, diantaranya adalah :

1. Analisis model bioreaktor tipe *fixed dome* SNV
2. Analisis produktivitas bioreaktor dengan bahan baku kotoran sapi
3. Analisis kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan berdasarkan jumlah mikroba aktif dalam ruang reaktor

Analisis ketiga komponen diatas dilakukan dengan menggunakan model matematis untuk menentukan efektifitas bioreaktor berdasarkan literatur dan studi lapangan. Selain itu digunakan juga data dari masyarakat pengguna, sehingga dilakukan interview singkat mengenai proses konstruksi dan *maintenance* bioreaktor tipe *fixed dome*. (Lampiran 4)

3.4.1. Parameter Penelitian

Parameter yang diestimasi adalah ukuran yang mempengaruhi jumlah produksi gas setiap hari yaitu jumlah mikroba aktif dalam reaktor. Ditentukan dengan metode estimasi parameter menggunakan model matematis *monod kinetic*.

3.4.2. Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Variabel Bebas
 - Kandungan Total Solid (TS)
 - Suhu

2. Variabel terikat

- *Hydraulic Retention Time* (hari)
- Produktivitas biogas (%/hari)
- Efektivitas biogas []
- Produksi biogas (volume, m³/hari)

3. Variabel interval

- Waktu pengambilan data sampling (hari ke-0, 21, 63) (Muha, 2012)

4. Variabel tergantung

- Skala yang terukur pada manometer (cm) = volume produksi biogas

5. Variabel kualitatif

- Penilaian masyarakat pengguna terhadap bioreaktor tipe *fixed dome* SNV, kualitas gas yang dihasilkan, serta metode perawatannya.

3.4.3. Model yang digunakan

Model yang digunakan dalam penelitian adalah model *Anaerobic Digestion Model* tipe *fixed dome* (Widodo, 2009) dan (Ghimire, 2011) dengan model matematis menggunakan persamaan *monod type kinetic* pada sub bab 2.2.2.

3.5. Langkah penelitian

3.5.1. Simulasi

Langkah penelitian menggunakan acuan tentang analisis efektifitas bioreaktor tipe *fixed dome* berdasarkan model matematis (Muha, 2012) dan pertumbuhan mikroba dalam reaktor (lardon, 2011)

- a. Mengumpulkan data berupa model bioreaktor (lama dan baru), masing-masing model bioreaktor dari SNV/BIRU dengan input kotoran (sapi).
- b. Analisis model dengan persamaan *Monod Type Kinetic* untuk mengetahui pertumbuhan mikroba dalam reaktor menggunakan iDynoMiCS v.1.2. dan dihasilkan gambar koloni serta grafik produktivitas bioreaktor.
- c. Mengevaluasi grafik produktivitas, selanjutnya dilakukan penentuan keadaan optimum berdasarkan hasil simulasi

3.5.2. Eksperimen

Dalam eksperimen digunakan acuan literatur tentang pengambilan data biogas terkait dengan proses methanogenesis (Gholamifard, 2008) dan (Widodo, 2009) :

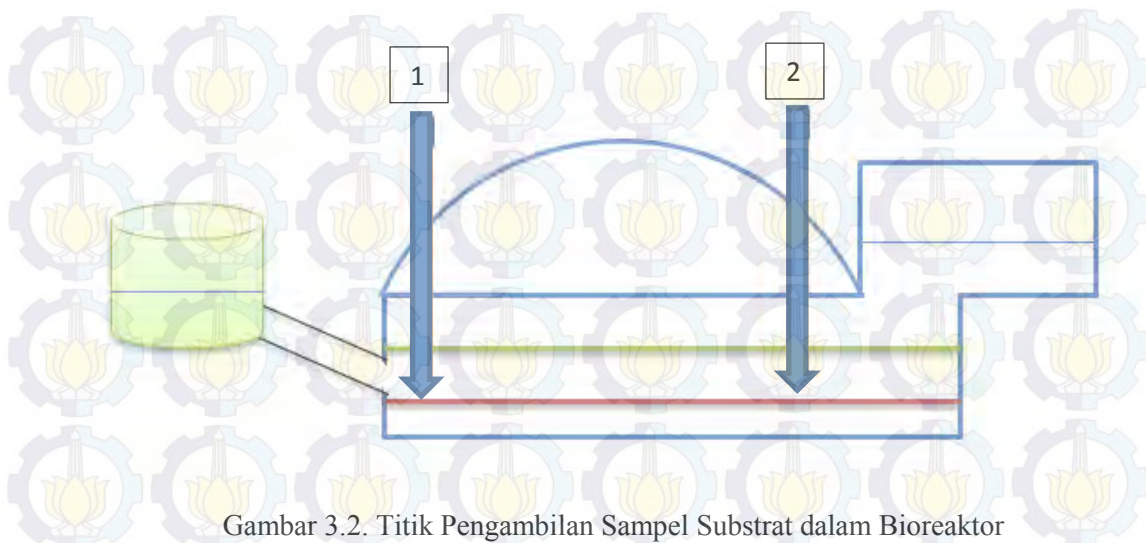
1. Melakukan pengambilan data sampling pada bioreaktor berupa volume bahan baku biogas kotoran hewan (kg) dan air (l), komposisi bahan baku [TS], jumlah dan kandungan gas (%), serta waktu pengambilan data (hr).
2. Melakukan pengambilan data berupa volume gas yang dihasilkan per hari berdasarkan nilai skala pada manometer gas (cm), lama penggunaan gas (jam), dan waktu pengambilan data (hr)
3. Menganalisis kandungan biogas (CH_4 dan CO_2) yang dihasilkan oleh bioreaktor di laboratorium (%)
5. Menganalisis proses methanogenesis pada bioreaktor dengan model matematis *monod type kinetic* berdasarkan parameter yang mempengaruhi produktivitas (jumlah mikroba)
6. Menghitung efektifitas bioreaktor
7. Menentukan nilai optimum dari hasil simulasi.

3.6. Teknik observasi

Dalam penelitian, digunakan teknik pengambilan data secara sampling bersifat diskrit terhadap waktu. Menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif mengenai bahan baku dan hasil produksi biogas. Selain itu juga digunakan metode stokastik untuk menentukan tingkat efektifitas bioreaktor tipe *fixed dome* berdasarkan data interview dengan pengguna.

1. Metode pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilakukan setiap 7 hari sekali untuk mengamati produktivitas biogas dalam bioreaktor, mengetahui waktu retensi hidrolik (HRT), dan produksi biogas setelah HRT. Pengambilan sampel dilakukan pada 2 titik pada bioreaktor yang telah dimodifikasi sebelumnya.



Gambar 3.2. Titik Pengambilan Sampel Substrat dalam Bioreaktor

Titik pertama adalah substrat pada tepi reaktor yang berdekatan dengan inlet. Titik ke-2 adalah pada tepi reaktor yang berdekatan dengan pipa outlet. Pembagian titik ini dilakukan untuk menganalisis kandungan substrat pada saat proses methanogenesis berlangsung. Untuk menentukan waktu retensi hidrolis, dilakukan pengambilan data (7 hari sekali) sampai gas diproduksi. Diasumsikan substrat dalam reaktor bersifat homogen.

Setelah didapatkan sampel substrat dalam bioreaktor, kemudian dimasukkan dalam botol atau plastik yang tertutup rapat dan diletakkan dalam *ice box*.

2. Alat yang digunakan

Untuk menganalisis kandungan zat dalam substrat digunakan *Gas Chromatography* (GC) yang berada di laboratorium Energi ITS Surabaya. Dari hasil uji substrat, didapatkan data berupa kandungan CH_4 dan CO_2 . Dari data hasil uji substrat tersebut akan dianalisis menggunakan model matematis untuk menentukan parameter berupa jumlah mikroba dan laju pertumbuhan mikroba, sehingga didapatkan nilai efektifitas reaktor.

3.7. Penulisan Laporan

Setelah diperoleh data-data hasil observasi, dilakukan analisis baik secara simulasi (Lardon, 2011) maupun analisis laboratorium (Krishania, 2013). Kemudian disajikan dalam bentuk laporan tertulis dengan mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah (tesis). Hasil analisis mengenai keadaan optimum dari

produksi biogas dan kualitas biogas yang dihasilkan (Widodo, 2009), kemudian disusun rekomendasi mengenai manajemen dan perawatan unit reaktor agar diperoleh produksi gas yang memenuhi kebutuhan energi skala rumah tangga dengan kualitas metan yang baik. Perhitungan persentase peningkatan *income* dan *saving cost* untuk kebutuhan energi (lampiran 4) bagi masyarakat dilakukan untuk mengetahui peran biogas dalam usaha mendukung masyarakat mandiri energi di bidang ekonomi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Produksi Gas

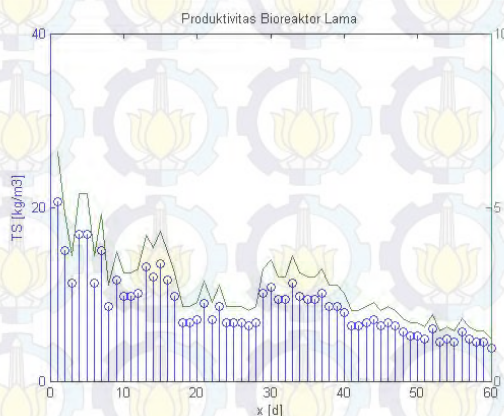
Untuk memperoleh data produktivitas biogas dalam reaktor selama 2 bulan, dilakukan pengambilan data penggunaan gas setiap hari. Volume gas yang digunakan (untuk kompor gas) diukur dengan pembacaan pada skala manometer, dengan asumsi bahwa tekanan pada manometer yang ditunjukkan dengan penambahan ketinggian pada cairan setara dengan volume gas dalam reaktor. Jika cairan menunjukkan angka 10 pada skala manometer, maka gas dalam reaktor telah habis (konversi skala manometer ke volume gas, Widodo, 2009).

Pengambilan data penggunaan gas dilakukan pada 2 reaktor, masing-masing reaktor lama dan baru ukuran 8 m³. Dicatat sejak reaktor mengeluarkan gas atau disebut dengan Waktu Retensi Hidrolik (HRT) yaitu hari ke 15 sejak pengisian perdana. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat produktivitas biogas berdasarkan perbedaan waktu penggunaan reaktor.

Tabel 4.1. Profil Bioreaktor

Lama	Baru
Pengguna : Pak Solihin	Pengguna : Pak Sugeng
Ukuran : 8 m ³	Ukuran : 8 m ³
Jumlah (<i>feeding</i>) kotoran : 60 kg	Jumlah (<i>feeding</i>) kotoran : 80 kg
Diameter : 1450 mm	Diameter : 1450 mm
Tinggi : 1550 mm	Tinggi : 1550 mm
Ketebalan Bahan : 12 mm	Ketebalan Bahan : 12 mm
Jumlah Sapi : 4	Jumlah Sapi : 3

Data diatas (Tabel 4.1.) digunakan sebagai data awal untuk melakukan pengambilan data penggunaan biogas pada reaktor lama pada bulan 1 sebagaimana terlampir (Lampiran 3). Dari data tersebut, dihasilkan grafik 4.1.

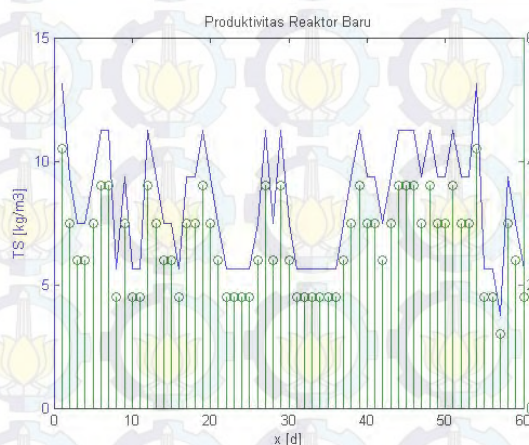


Gambar 4.1. Grafik Produktivitas Reaktor Lama

Berdasarkan Gambar 4.1., terdapat 2 sumbu y, sumbu y pertama (biru) menginterpretasikan jumlah total solid (TS) atau dalam $[\text{kg}/\text{m}^3]$ substrat (kotoran sapi) yang dimasukkan dalam reaktor (S_1), dan sumbu y ke-2 (hijau) menginterpretasikan jumlah biogas yang dihasilkan $[\text{P}_{\text{CH}_4}, \text{m}^3]$ masing-masing terhadap hari $[\text{t}]$ (sumbu x), parameter hasil pengukuran tersebut akan digunakan untuk menentukan pertumbuhan mikroba dalam reaktor dengan menggunakan monod kinetic dan untuk menentukan nilai efektifitas dalam reaktor.

Produktivitas biogas dalam waktu 60 hari terlihat fluktuatif, bahkan semakin lama semakin turun, hal ini disebabkan karena berkurangnya kandungan senyawa karbon dalam substrat yang berkorelasi dengan menurunnya kadar total solid dalam bioreaktor, sehingga mikroba pengurai mengalami kekurangan [defisit] makanan. Selain itu, dengan berjalannya waktu, pertumbuhan mikroba terhambat oleh akumulasi mineral [senyawa anorganik] dalam endapan substrat yang bersifat inhibitor [toksik] terhadap reaksi dekomposisi karbon menjadi gas metana.

Produktivitas biogas pada reaktor baru, digambarkan dalam grafik sesuai dengan data terlampir (Lampiran 4) dengan parameter yang sama dengan bioreaktor lama pada Gambar 4.1.

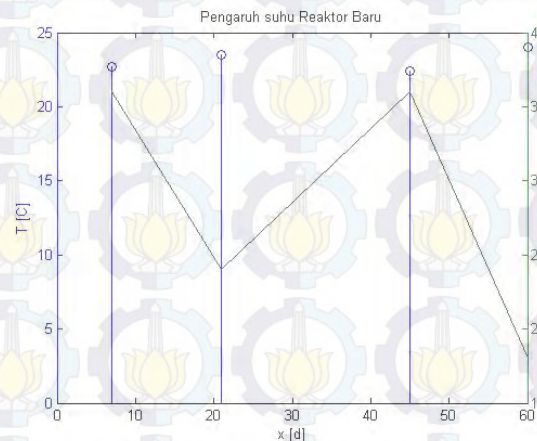


Gambar 4.2. Grafik Produktivitas Reaktor Baru

Pada gambar 4.2., menunjukkan tingkat produktivitas untuk bioreaktor baru. Rata-rata produksi biogas $[\text{P}_{\text{CH}_4}]$ adalah $2,6 \text{ m}^3/\text{hari}$ dengan lama waktu penggunaan sekitar 2 jam per hari. Sedangkan bioreaktor lama mampu memproduksi gas rata-rata $2,76 \text{ m}^3/\text{hari}$ dengan lama waktu penggunaan sekitar 3,5 jam. Volume biogas tersebut telah cukup untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga yaitu sebesar $1,6 \text{ m}^3/\text{hari}$, sehingga kelebihan produksi gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan lain atau disimpan. Perbedaan produksi biogas sangat dipengaruhi oleh variabel terikat dalam reaktor, diantaranya jumlah mikroba (μ) yang diakibatkan oleh perbedaan variabel inputnya (S_1).

4.2. Pengaruh Suhu

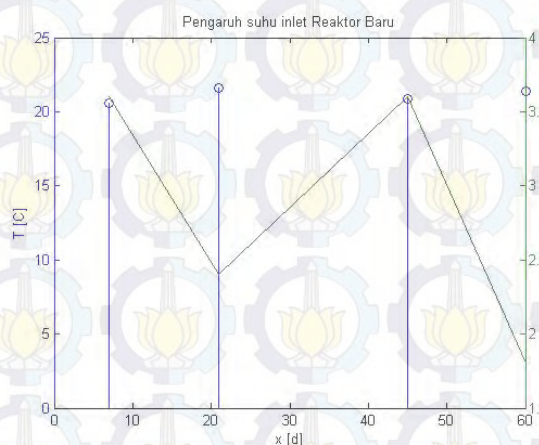
Simulasi produktivitas biogas berdasarkan suhu reaktor yang didapatkan dari data pengukuran suhu lingkungan disekitar bioreaktor (Lampiran 6) dijelaskan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Produksi Biogas

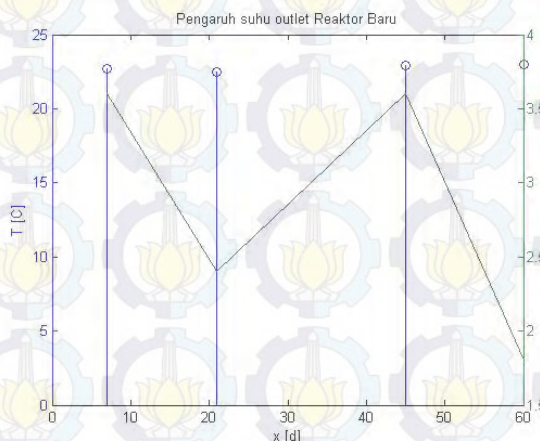
Pada Gambar 4.3. terdapat 2 sumbu y, sumbu y pertama (biru) menginterpretasikan suhu lingkungan dalam [°C], dan sumbu y ke-2 (hijau) menginterpretasikan jumlah biogas yang dihasilkan [m³] masing-masing terhadap hari [d] (sumbu x).

Suhu lingkungan (ambien) rata-rata sebesar 21 °C. Jika dilihat dari grafik, suhu lingkungan tidak berpengaruh pada jumlah volume gas yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena material bahan reaktor yang digunakan (beton) mampu menjaga suhu dalam reaktor agar tetap stabil. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang dikemukakan oleh Widodo dalam jurnalnya (Widodo, 2009), dan Ghimire mengenai desain bioreaktor tipe *fixed dome* (Ghimire, 2011).



Gambar 4.4. Pengaruh Suhu Reaktor (diukur dari inlet) terhadap Produksi Biogas

Hal yang sama juga terjadi pada suhu dalam reaktor (Gambar 4.4.), grafik tersebut diperoleh berdasarkan data pengukuran suhu dalam bioreaktor (Lampiran 7). Suhu dalam reaktor jika diukur dari inlet, rata-rata sebesar 22 °C, dan cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan selama 60 hari.



Gambar 4.5. Pengaruh Suhu Reaktor (diukur dari outlet) terhadap Produksi Biogas

Grafik 4.5. menunjukkan pengaruh suhu dalam reaktor jika diukur dari outlet terhadap volume biogas yang dihasilkan berdasarkan data pada Lampiran 8. Suhu dalam reaktor berkisar antara 22-23 °C dengan volume gas yang dihasilkan bersifat fluktuatif.

Ketiga grafik diatas [Gambar 4.3. , 4.4.& 4.5.] tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Artinya, suhu lingkungan sama dengan suhu di dalam reaktor dalam kondisi setimbang, sehingga menjadikan interaksi termodinamis [pindah panas] dari luar dan dalam reaktor dalam kondisi stabil. Secara teoritis, produksi gas = reaksi pertumbuhan mikroba yang meningkat dengan kenaikan suhu substrat [sampai batas tertentu sesuai dengan daya hidup mikroba mesofilik yaitu 20-40°C]. Pengaruh suhu terhadap produksi biogas akan sangat nyata pada reaktor yang dipasang di daerah tropis dan sub tropis [terutama pada musim dingin]/ pada daerah subtropis, reaktor biogas diselimuti mantel pemanas yang akan dihidupkan pada saat musim dingin.

Tujuan mengukur suhu pada penelitian ini semula ditujukan untuk membandingkan mengapa rancangan bioreaktor yang sama memiliki HRT lebih pendek jika dipasang di daerah tropis [Indonesia] dataran rendah dibandingkan dengan daerah dataran tinggi atau pegunungan atau bahkan wilayah yang mendekati sub-tropis [Nepal]. Suhu operasional bioreaktor mesofilik pada Nepal berada diantara 30-40 °C, dengan suhu optimum didalam reaktor sebesar 35 °C [HRT 70 hari] (Karki, 2005). Hal ini dipengaruhi oleh keadaan geografis yang sebagian besar berupa pegunungan sub-tropis bersuhu 35-45 °C. Bioreaktor tipe *fixed dome* juga banyak dibangun di China yang memiliki keadaan geografis

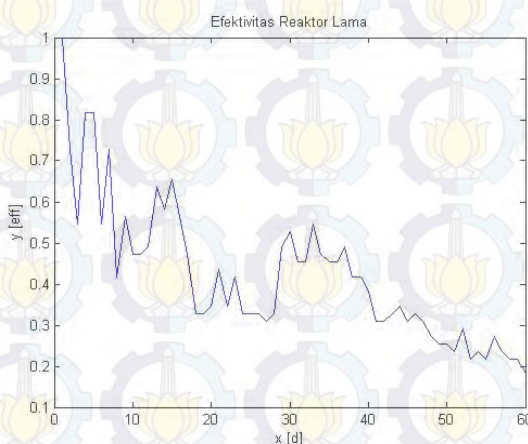
seperti Nepal (Urmila, 2008). Sedangkan di Indonesia khususnya wilayah Nongkojajar, berada di kawasan pegunungan Bromo yang memiliki suhu sekitar 16-25 °C [dengan suhu rata-rata dalam reaktor sebesar 23 °C], sehingga penggunaan bioreaktor tipe *fixed dome* belum bisa mencapai optimum jika dibandingkan dengan suhu optimum pada bioreaktor Nepal.

Keadaan geografis tersebut berkorelasi terhadap suhu lingkungan, sehingga mempengaruhi pertumbuhan mikroba mesofilik dalam bioreaktor yang menyebabkan produksi biogas tidak optimum. Namun, unit bioreaktor di Indonesia terutama di Nongkojajar memiliki kelebihan diantaranya, HRT lebih singkat, yaitu 15-50 hari, dan volume biogas yang dihasilkan telah cukup untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga sehari-hari. Karena itu diperlukan upaya untuk menjaga agar produksi biogas tidak mengalami penurunan setidaknya dalam kurun waktu 5 tahun dihitung sejak pembangunan. Upaya tersebut diantaranya, membersihkan bioreaktor secara berkala (misal 5 tahun) agar endapan [sisa anorganik] substrat di dasar bioreaktor menjadi berkurang, selain itu dapat dilakukan pengadukan dari ujung outlet agar substrat dalam bioreaktor tercampur sehingga mikroba penghasil metan memiliki cukup makanan untuk pertumbuhan dan menghasilkan biogas.

Dari ketiga grafik diatas, menunjukkan bahwa suhu dalam reaktor konstan, dan tidak mempengaruhi volume gas yang dihasilkan, sehingga parameter suhu dapat diabaikan (untuk kasus di Nongkojajar) dengan asumsi jarak bioreaktor lama dan baru sejauh 2 km berada di Desa yang sama (suhu sama).

4.3. Efektivitas Bioreaktor

Simulasi dengan menggunakan matlab untuk pemodelan efektivitas bioreaktor terdapat dalam Gambar 4.6.



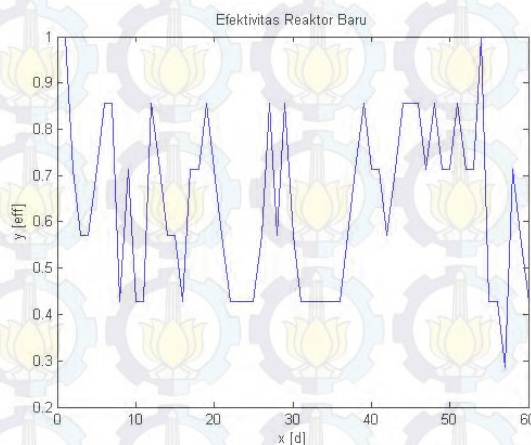
Gambar 4.6. Grafik Efektivitas Bioreaktor Lama

Grafik efektifitas bioreaktor lama pada Gambar 4.6. didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.14) dimana rasio produksi metan per

hari (P_{CH_4}) terhadap produksi metan maksimum P_{max} didalam ruang reaktor ($V_{reaktor}$) menghasilkan nilai efektifitas [Eff (t)] yang berbeda setiap harinya. Data pengukuran masing-masing variabel terdapat dalam (Lampiran 3). Produksi biogas cenderung turun dengan kondisi tidak di feeding selama 60 hari.

Efektifitas tertinggi dihasilkan oleh bioreaktor pada hari 5 [dihitung setelah HRT; 15 hari] dengan nilai 0,81 dan efektifitas rata-rata 0,41. Pada hari ke 5, kadar metan yang diuji dari sampel gas menggunakan GC bernilai 67,6% CH_4 , 29,4% CO_2 . Kadar metan ini terus mengalami penurunan hingga mencapai 3,34% pada hari ke 60, dengan kadar CO_2 22,87% dan zat lain hampir 70%. Adanya faktor penghambat berupa berkurangnya total solid (S_1) yang menyebabkan semakin banyaknya mikroba aktif penghasil metan yang mati akibat kekurangan makanan dan adanya endapan sisa substrat di dasar bioreaktornyebabkan berkurangnya produktivitas biogas (γ).

Untuk mengetahui perbandingan efektifitas bioreaktor lama dan baru, berikut adalah grafik efektifitas pada reaktor baru.



Gambar 4.7. Grafik Efektivitas Bioreaktor Baru

Berdasarkan simulasi dari kedua reaktor (Gambar 4.6. dan 4.7.) menunjukkan bahwa nilai efektifitas pada bioreaktor baru lebih tinggi daripada bioreaktor lama, yaitu 0,85 pada hari ke-5 dihitung sejak HRT pada hari ke-15 dengan efektifitas rata-rata 0,63. Hal ini disebabkan karena parameter yang mempengaruhi produksi gas (jumlah substrat biomass, S_1) mengalami perbedaan akibat dari adanya faktor penghambat berupa endapan substrat didasar reaktor. Endapan substrat tersebut menyebabkan pertumbuhan mikroba aktif penghasil metan mengalami pertumbuhan yang tidak maksimal sehingga produksi gas mengalami penurunan.

Pada bioreaktor baru, produksi gas terlihat lebih stabil sebagai akibat dari belum terbentuknya endapan didasar reaktor yang mengganggu pertumbuhan mikroba penghasil metan. Namun, jumlah gas yang dihasilkan belum maksimal

karena adanya air berlebih yang menyebabkan proses methanogenesis menjadi lama. Sedangkan pada bioreaktor lama, adanya methan sisa dalam substrat sebelum di *feeding* menyebabkan proses methanogenesis berlangsung lebih cepat sehingga produksi gas yang dihasilkan lebih tinggi.

Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk pemodelan dengan *monod type kinetic* terdapat dalam tabel 4.2. Nilai dari parameter tersebut ditentukan berdasarkan pengukuran langsung dan perhitungan menggunakan formula dari literatur yang telah disesuaikan dengan kasus di lapangan

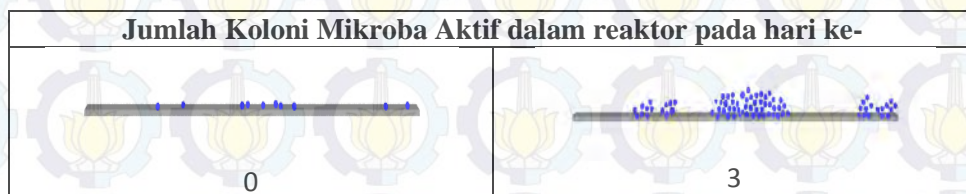
Tabel 4.2. Parameter Fisis Produksi Biogas

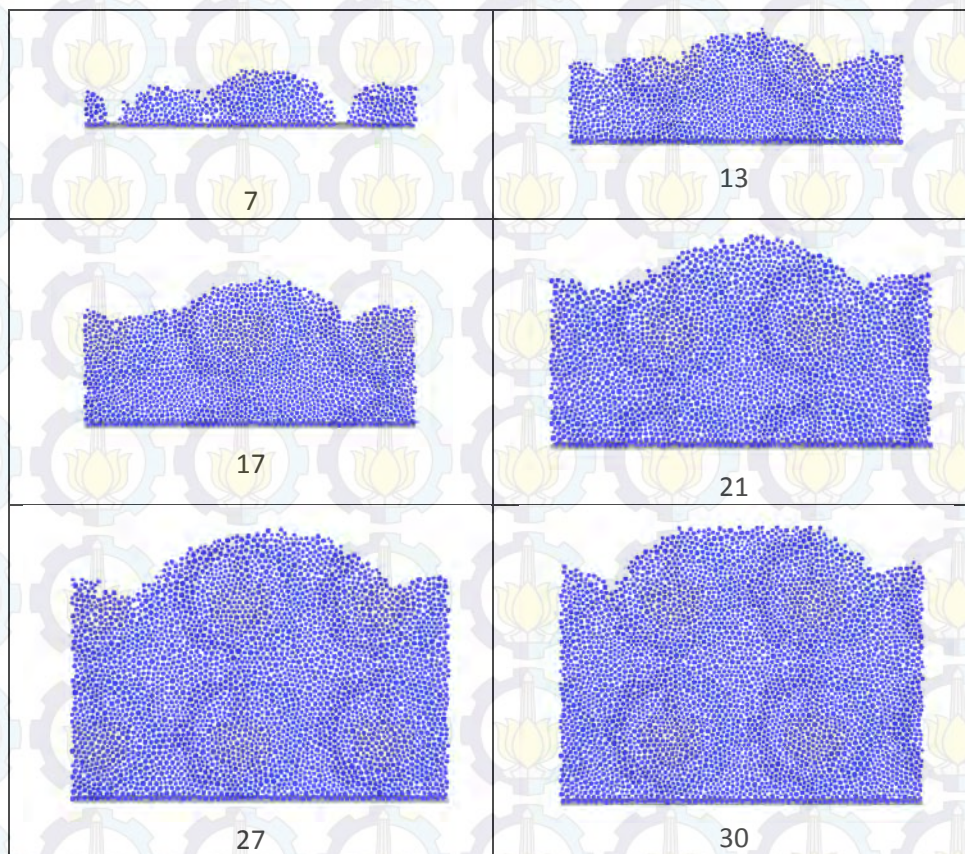
Parameter	Symbol	Formula	Value	Units	F Source
Produksi metan maksimum	Bo	-	4	m ³	Measured
Konsentrasi Volatile solid dalam material input	So	$79,69\% \times \text{material input}$	13,125	kg/m ³	Sasongko
Hidraulic Retention Time	HRT	-	15	day	Measured
Koefisien kinetic	K	$0,8 + 0,0016 \times e^{0,06 \times So}$	0,8035	-	Widodo
Pertumbuhan Spesifik	μ_m	$0,013 (T) - 0,129$	0,157	g/h	Widodo
Maksimum Mikroba	S _{CH4}	-	60	kg	Measured
Substrat CH4	S _{COD}	$77,20\% \times \text{material input}$	-	Kg	Sasongko
Substrat COD	K _{COD}	-	4×10^3	g/l	Lardon
Konstanta saturasi COD	V _{reaktor}	-	8	m ³	BIRU
Volume reaktor	P _{CH4}	-	2,6 (r)	m ³	Measured
Produksi metan	P _{max}	-	3,6	m ³	measured
Produksi Methan Maksimum					

4.4. Pemodelan dengan iDynoMiCS v.1.2

Untuk menentukan jumlah mikroba dan laju pertumbuhan mikroba, dilakukan pemodelan dengan *Monod Type Kinetic* menggunakan iDynoMiCS v 1.2. (persamaan 2.6) dengan input berupa jumlah substrat biomass (S_{CH4}), jumlah kandungan oksigen dalam substrat (S_{COD}) laju pertumbuhan maksimum mikroorganisme μ_m dan koefisien kinetic (K) untuk masing-masing COD dan CH₄ serta parameter terkait pada Tabel 4.2., sehingga diperoleh hasil simulasi berupa data jumlah koloni mikroba (Lampiran 9) dan gambar pada Tabel 4.3.

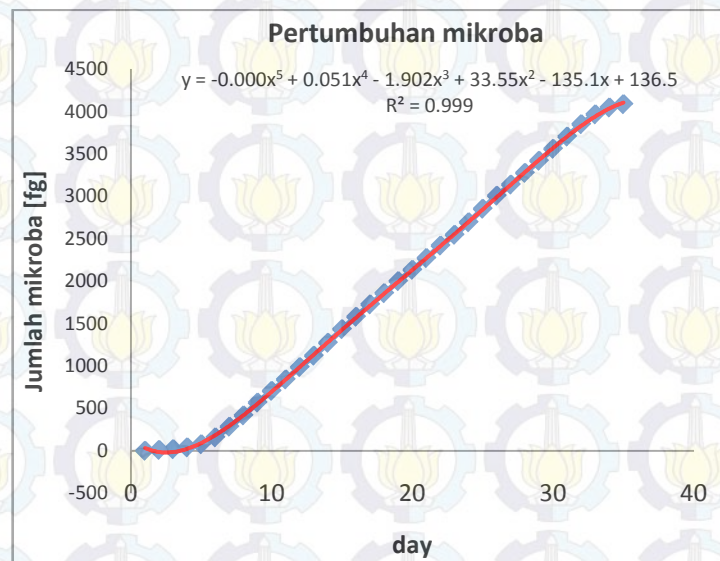
Tabel 4.3. Jumlah Koloni Mikroba dalam Ruang Bioreaktor





Dari gambar yang terdapat dalam Tabel 4.3. dapat diketahui populasi mikroba dihitung setiap 3 hari. Setiap unit mewakili jumlah (koloni) mikroba sebanyak 1×10^5 spesies. Dan setiap satu species memiliki massa 1 fg (femtogram), atau sama dengan 1×10^{-15} gr. Unit berwarna biru merupakan koloni mikroba aktif (μ) yang mampu mendegradasi substrat organik (S_{COD} dan S_{CH_4}) lalu mengubahnya menjadi gas methan. Terdapat perbedaan yang signifikan antara iterasi pada hari ke- 0, 7, 17, dan 21. Perbedaan jumlah mikroba aktif (μ) inilah yang mempengaruhi produksi biogas (P_{CH_4} , Vs) dalam reaktor. Semakin banyak populasi mikroba, maka semakin banyak pula gas yang dihasilkan.

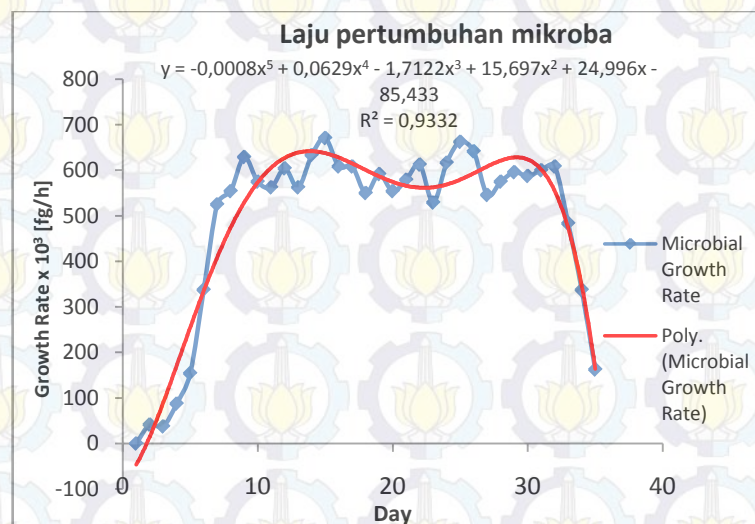
Jumlah mikroba dalam ruang bioreaktor hasil simulasi masing-masing hari terdapat pada (Lampiran 9) dan selanjutnya digambarkan dalam grafik (Gambar 4.8) untuk mengetahui hubungan antara pertumbuhan mikroba (μ) terhadap hari (t). Persamaan regresi yang didapatkan, digunakan untuk validasi pertumbuhan mikroba dalam ruang reaktor sesuai literatur dengan mengetahui nilai koefisien determinasi (R^2). Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui proporsi atau persentase variasi total dalam variabel terikat yang dipengaruhi oleh variabel bebas, dalam kasus ini adalah pertumbuhan mikroba (μ) sebagai variabel terikat dan hari (t) sebagai variabel bebas. Nilai R^2 terletak antara 0 – 1, dan tingkat kecocokan model dikatakan lebih baik jika R^2 mendekati 1 (Kreshna, _).



Gambar 4.8. Jumlah Koloni Mikroba dalam Ruang Reaktor

Pertumbuhan mikroba aktif penghasil metan terhadap hari mengikuti persamaan polinomial (pangkat 5), dengan nilai R^2 0,99 yang menandakan bahwa tingkat kesesuaian antara model dan variabel telah mendekati benar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Angelidaki mengenai pertumbuhan bakteri methanogen (Angelidaki, 2008).

Dari data jumlah mikroba per satuan waktu (gambar 4.8.), dapat ditentukan laju pertumbuhan mikroba (μ/t) dalam [fg/h] setiap hari (data perhitungan di Lampiran 9) pada ruang reaktor sebagaimana Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Laju Pertumbuhan Mikroba dalam Ruang Bioreaktor

Laju pertumbuhan mikroba (fg/h) dalam ruang bioreaktor mengikuti persamaan polinomial dengan tingkat kesesuaian antar variabel R^2 sebesar 0,93.

laju pertumbuhan dihitung berdasarkan jumlah mikroba yang didapatkan dari hasil simulasi (μ) pada perumusan *monod kinetic* selang waktu (t , 24 jam / hari), sehingga diperoleh nilai laju pertumbuhan mikroba dalam [fg/h] selama 60 hari masa pengukuran.

Laju pertumbuhan mikroba mengalami peningkatan pada hari ke-3 sampai hari ke-9, hal ini dipengaruhi oleh ketersediaan makanan (substrat, S_1) berupa carbon yang terkandung dalam substrat methan (S_{CH_4}) dalam reaktor yang menyebabkan mikroba mengalami pertumbuhan pesat. Selang waktu hari ke-10 sampai 31 pertumbuhan mikroba cenderung fluktuatif dan mencapai titik maksimum pada kecepatan 670,8 fg/h pada hari ke 13, titik ini merupakan titik optimum pertumbuhan mikroba, sedangkan laju pertumbuhan mikroba mengalami penurunan pada hari ke 31, hal ini disebabkan karena methan telah dihasilkan (P_{CH_4}) dan substrat dalam reaktor telah ter-degradasi, sehingga mikroba kekurangan makanan.

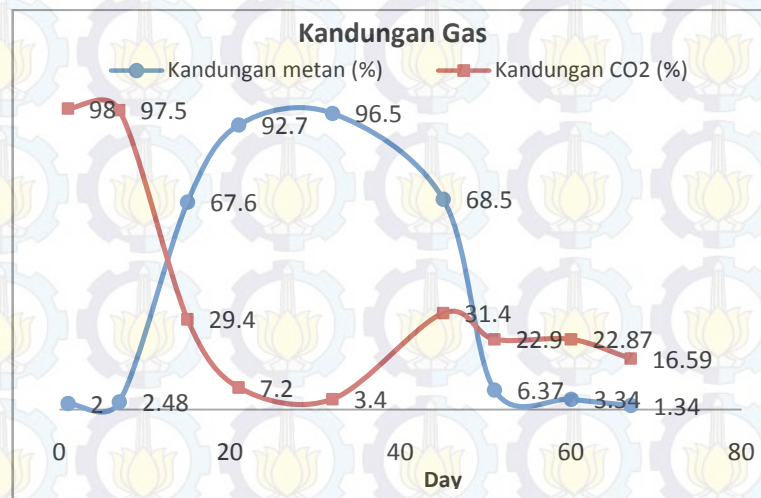
4.5. Kualitas Biogas

Untuk mengetahui kadar methan dalam bioreaktor, dilakukan uji sampel dan menganalisanya dengan *Gas Chromatography* (GC), pada bulan ke 1 dihasilkan 6 data seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kadar Biogas

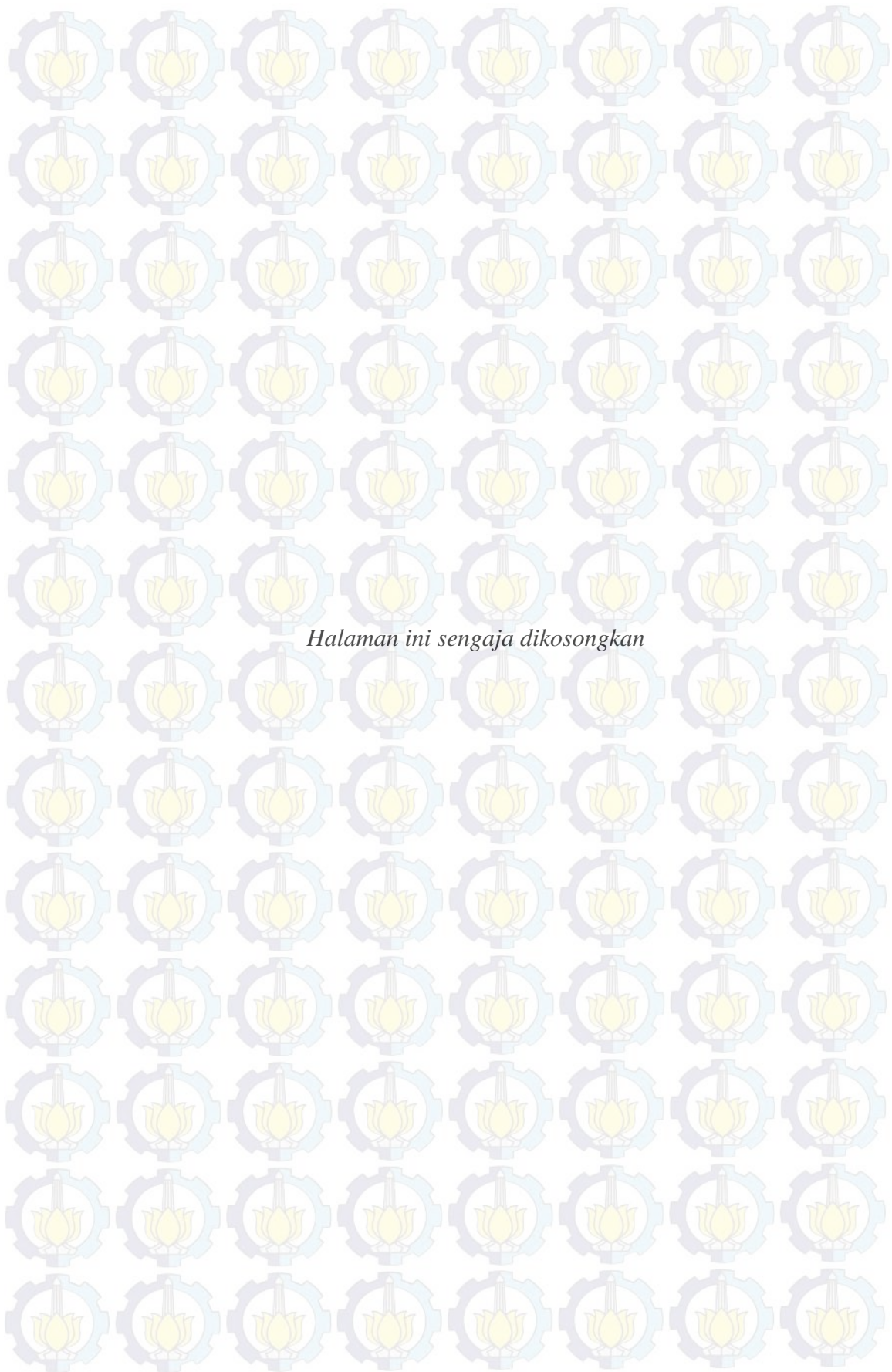
Hari ke-	Kadar Gas
1	2% CH_4 , 98% CO_2
7	2,48% CH_4 , 97,5% CO_2
15	67,6% CH_4 , 29,4% CO_2
21	92,7% CH_4 , 7,2% CO_2
32	96,5% CH_4 , 3,4% CO_2
45	68,5% CH_4 , 31,4% CO_2
51	6,37% CH_4 , 22,9% CO_2
60	3,34% CH_4 , 22,87% CO_2
67	1,34% CH_4 , 16,59% CO_2

Kandungan biogas dengan komponen utama berupa methan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) merupakan parameter fisis ($R_{AC \rightarrow CO_2}$, dan $R_{AC \rightarrow CH_4}$) yang terukur untuk menentukan efektifitas (Eff [t]) pada persamaan 2.14. Parameter tersebut berkaitan dengan jumlah mikroba dalam ruang reaktor (μ) dan volume gas yang dihasilkan (P_{CH_4}), dimana semakin tinggi jumlah mikroba semakin tinggi pula volume gas dan kadar methan yang dihasilkan. Dari tabel 4.4. didapatkan hubungan antara kandungan gas methan dengan karbon dioksida berdasarkan hari sebagai berikut :



Gambar 4.10. Grafik Kandungan Methan dan Karbondioksida dalam Ruang Reaktor

Kandungan metan mengalami peningkatan selang waktu 20 hari pertama, HRT 15 hari. Keadaan ini dipengaruhi oleh jumlah substrat dalam bioreaktor yang menjadi sumber utama pembentukan metan oleh bakteri methanogenesis. Peningkatan kadar metan diikuti oleh penurunan senyawa karbon dioksida, mikroba aktif pembentuk metan membutuhkan karbon dioksida untuk mereaksikan senyawa asam dan asetat dalam tahap sebelum methanogenesis, hal inilah yang menyebabkan jumlah metan berbanding terbalik dengan karbon dioksida. Pada hari ke-32 jumlah metan berada pada titik tertinggi yaitu 96,5% atau 965.000 ppm (standard pengukuran dengan GC) dengan kadar karbon dioksida berada pada titik terendah 3,4 % atau sekitar 34.000 ppm. Kadar metan mengalami penurunan pada hari ke-45 sampai hari ke-67, penurunan tersebut diiringi oleh peningkatan jumlah karbon dioksida, hal ini menunjukkan bahwa substrat dalam bioreaktor sebagian besar telah terdegradasi oleh mikroba penghasil metan dan menjadi biogas, sehingga udara bebas mulai mengisi ruang bioreaktor yang menyebabkan bertambahnya gas karbon dioksida.



BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan simulasi, didapatkan kesimpulan sesuai tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Produksi biogas pada reaktor SNV tipe *fixed dome* ukuran 8 m^3 memiliki masa retensi hidrolik (HRT) selama 15 hari dengan nilai efektifitas unit reaktor tertinggi sebesar 0,8 pada hari ke-5 dihitung setelah HRT.
2. Produktivitas biogas yang berlangsung dalam ruang reaktor dipengaruhi oleh jumlah mikroba aktif penghasil metan yang mampu menghasilkan biogas dengan volume rata-rata $2,6 \text{ m}^3/\text{hari}$ pada temperatur 23°C (suhu ambient 21°C).
3. Keadaan optimum produktivitas biogas tercapai jika volume gas yang dihasilkan mencapai $3,6 \text{ m}^3$ dengan kadar Total Solid $13,125 \text{ kg/m}^3$, jumlah mikroba dalam ruang bioreaktor $40,86 \times 10^7 \text{ fg}$ pada hari ke 32 dengan laju pertumbuhan maksimum $670,8 \text{ fg/h}$. Kandungan metan yang dihasilkan mencapai 67,6% dan CO_2 29,4%.

Saran

Dalam penelitian mengenai tingkat produktivitas biogas pada reaktor tipe *fixed dome*, dihasilkan informasi mengenai karakteristik bioreaktor berupa produksi dan kualitas biogas yang dihasilkan. Untuk menjaga agar produksi biogas tetap stabil dalam upaya memenuhi kebutuhan energi rumah tangga diperlukan langkah-langkah perawatan unit bioreaktor sebagai berikut :

1. Memastikan campuran substrat ; kotoran sapi dan air berada dalam jumlah yang seimbang 1 : 1, agar mikroba aktif dapat berkembang dengan baik.
2. Melakukan pengadukan secara berkala (2 bulan sekali) pada unit bioreaktor agar substrat dalam reaktor homogen, sehingga proses pembentukan metan dapat berlangsung lebih cepat.

3. Melakukan pembersihan reaktor dalam kurun waktu tertentu (5 tahun sekali), agar penumpukan sisa-sisa substrat hasil degradasi (menghambat pertumbuhan mikroba dan mengurangi volume reaktor) yang mengendap di dasar bioreaktor bisa berkurang.
4. Volume biogas berlebih yang dihasilkan oleh unit bioreaktor dapat digunakan untuk mendukung perekonomian masyarakat jika dimanfaatkan untuk usaha skala rumah tangga.

Penelitian Selanjutnya

Dari penelitian yang telah dilakukan, masih ada beberapa bagian yang perlu untuk dilengkapi, sehingga menghasilkan peluang untuk penelitian selanjutnya, diantaranya yaitu :

1. Analisis produktivitas biogas berdasarkan fase awal pembentukan biogas, diantaranya Asetogenesis, Acidogenesis, atau Hidrolisis.
2. Analisis proses pembentukan biogas dalam ruang bioreaktor yang meliputi analisis secara kimia dan biologi (simulasi).
3. Analisis mengenai dampak penggunaan biogas dan ampasnya terhadap ekologi, baik lingkungan dan kesehatan
4. Analisis model reaktor SNV sehingga membuka peluang untuk diperbaiki atau modifikasi agar produksi biogas semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alt, Rene. *Theoretical and Computational studies of some Bioreactor Models*. Computers and Mathematics with Applications, 2012 ; 64 : 350-360.
- Angelidaki, Rena. 2008. *Know The Bacteria in Your Biogas Reactor*. Bioenergy Research No. 25. Department of Environmental Engineering, DTU. Denmark.
- Bajgain, Sundar. (1994). *Nepal Biogas Plant -- Construction Manual : Construction Manual for GGC 2047 Model Biogas Plant*. Biogas Support Programme. Kathmandu, Nepal.
- BIRU. (2010). *Pedoman Pengguna Biogas*. Jakarta : Tim Biogas Rumah.
- BIRU. (2010). *Pengenalan Biogas*. Jakarta : Tim Biogas Rumah.
- Bond, Tom. *History and future of Domestic Biogas Plants in Developing World, Energy for Sustainable Development* 2011 ; 15 : 347-354.
- CASINDO. *Capacity Development and Strengthening for Energy Formulation and Implementation of Sustainable Projects in Indonesia, Technical Proposal* ; 2009. May 2009.
- CIA. *Indonesia Geographics*. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/id.html> . Taken on May 5th 2013 at 8:11 AM
- Ghimire, Prakash. *SNV Supported Domestic Biogas Programmes in Asia and Africa, Renewable Energy* 2013 ; 49 : 90-94.
- Gholamifard, S. *Modeling anaerobic bioreactor landfills in methanogenic phase: Long term and short term behaviors*. Water research 42, 2008 : 5061–5071.
- Hasan, M.H. *A Review on Energy Scenario and Sustainable Energy in Indonesia, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012 ; 6 : 2316-2328.
- Holland, JH. *Genetic Algorithms*. Scientific American Journal. Juli 1992.
- IEO. *Indonesia Energy Outlook 2010*. Pusat Data dan Informasi Energi Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta ; 2010.
- Intensif. 2013. *Analisis Potensi Energi Biogas dan Kebijakan Energi di KPSP Setia Kawan Nongkojajar Pasuruan Indonesia*. ITS Surabaya.
- JRI Research. (2011). *Biogas User Survey : Report-HiVos*.

Kaparaju, P. *Effect of temperature and active biogas process on passive separation of digested manure*. Bioresource Technology 99 , 2008 : 1345–1352

Karellas, S. *Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 2010 : 1273–1282

Karki, Amrit. 2005. *Biogas As Renewable Source of Energy in Nepal Theory and Development*. BSP Nepal. Kathmandu. ISBN : 99946-34-76-3.

Kreshna, Syuhada. _ . Statistika : Bab 7 Analisis Regresi. Bahan Ajar Mata Kuliah Statistika. ITB

Krishania, M. *Analysis of different techniques used for improvement of biomethanation process : A review*. Fuel 106, 2013 : 1–9

Lardon LA, (2011). *iDynoMiCS: next-generation individual-based modelling of biofilms*. Environmental Microbiology 13: 2416-2434.

MFD. *Weather Forecast*. Taken from <http://www.mfd.gov.np/> on May 5th 2013 at 8:22 AM

Muha, I. *Mathematical modeling of process liquid flow and acetoclastic methanogenesis under mesophilic conditions in a two-phase biogas reactor*. Bioresource Technology 106, 2012 : 1–9.

Mulato, S. (2013). *Biogas*. Lecture handout : Technology of Renewable Energy. Institute of Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.

Natsir, A. (2009). *Capacity Development and Strengthening for Energy Formulation and Implementation of Sustainable Projects in Indonesia*. CASINDO , No. 27.

Purwandari, FA. *Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) by N - methylmorpholine- N -oxide (NMMO) for biogas production: Structural changes and digestion improvement*. Bioresource Technology 128, 2013 : 461–466

Radhiatmoko. 2007. *Simulasi Soft Sensor untuk Estimasi Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme pada Bioreaktor Anaerob Berbasis Jaringan Saraf Tiruan*. ITS Surabaya.

Riliandi, DF. 2010. Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Untuk Genset Listrik Biogas, Penerangan Dan Memasak Menuju Desa Nongkojajar (Kecamatan Tutar) Mandiri Energi. ITS Surabaya.

Roubos, JA. *An evolutionary strategy for fed-batch bioreactor optimization; concepts and performance*. Journal of Biotechnology, 1999 ; 67 : 173-187

Singh H, Maheshwari RC. *Indian advances in biogas technology – review of work done under aicrp on res*. Biogas, Forum 1995 ; 60 (I) :4–16.

Strevett, Keith A. *Chemo-autotrophic biogas purification for methane enrichment: mechanism and kinetics*. The Chemical Engineering Journal, 1995 ; 58 : 71-79

Urmila, B. 2008. *Biogas Production in Climates with Long Cold Winter*. Wageningen University, the Netherland

VPA 1, IDBP. (2012). *Gold Standard Programme Of Activity Design Document Form (Vpa-Dd) - Version 01*. The Gold Standard-Premium Quality Carbon Credits. Jakarta

Walekhwa, P. *Biogas energy from family-sized digesters in Uganda: Critical factors and policy implications*. Energy Policy 37, 2009 : 2754 –2762

Weiland, P. (2010). *Biogas From Energy Crop Digestion*. IEA Bioenergy. Impressum

Widodo, T.W. *Design and Development of Biogas Reactor for Farmer Group Scale*, Indonesian Journal of Agriculture 2009 ; (2) 2 : 121-128.



LAMPIRAN

1. Plant Bioreaktor BSP Nepal
2. Plant Bioreaktor IDBP Indonesia
3. Data Penggunaan biogas pada reaktor lama
4. Data Penggunaan biogas pada reaktor baru
5. Data Temperatur
6. Data Kandungan Total Solid dalam Bioreaktor Lama
7. Data Kandungan Total Solid dalam Bioreaktor Baru
8. Tahap Simulasi Type Monod Kinetik
9. Data hasil simulasi dengan iDynoMiCS
10. Data Hasil Uji GC
11. Dokumentasi pengambilan data

[illegible][illegible]

Lampiran 1

Plant Bioreaktor BSP Nepal

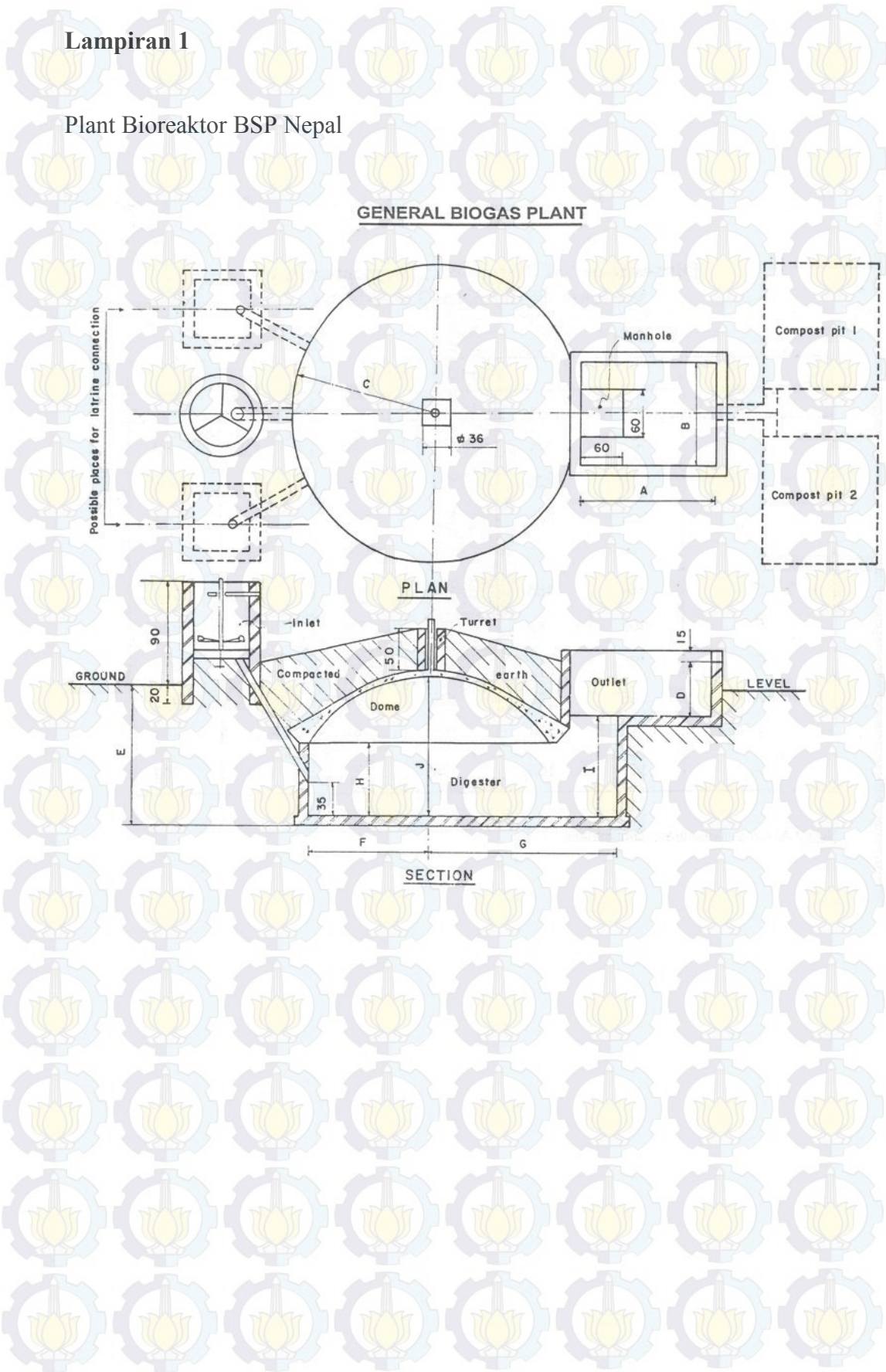
The diagram illustrates the design of a general biogas plant, consisting of two main parts: a PLAN view and a SECTION view.

PLAN View:

- Shows a circular digester tank with a diameter of $\phi 36$.
- An inlet pipe enters from the left, with dashed lines indicating "Possible places for latrine connection".
- A manhole is located on the right side of the digester.
- Two rectangular compost pits are shown to the right of the digester, labeled "Compost pit 1" and "Compost pit 2".
- Dimensions A, B, and C are indicated for the plan view.

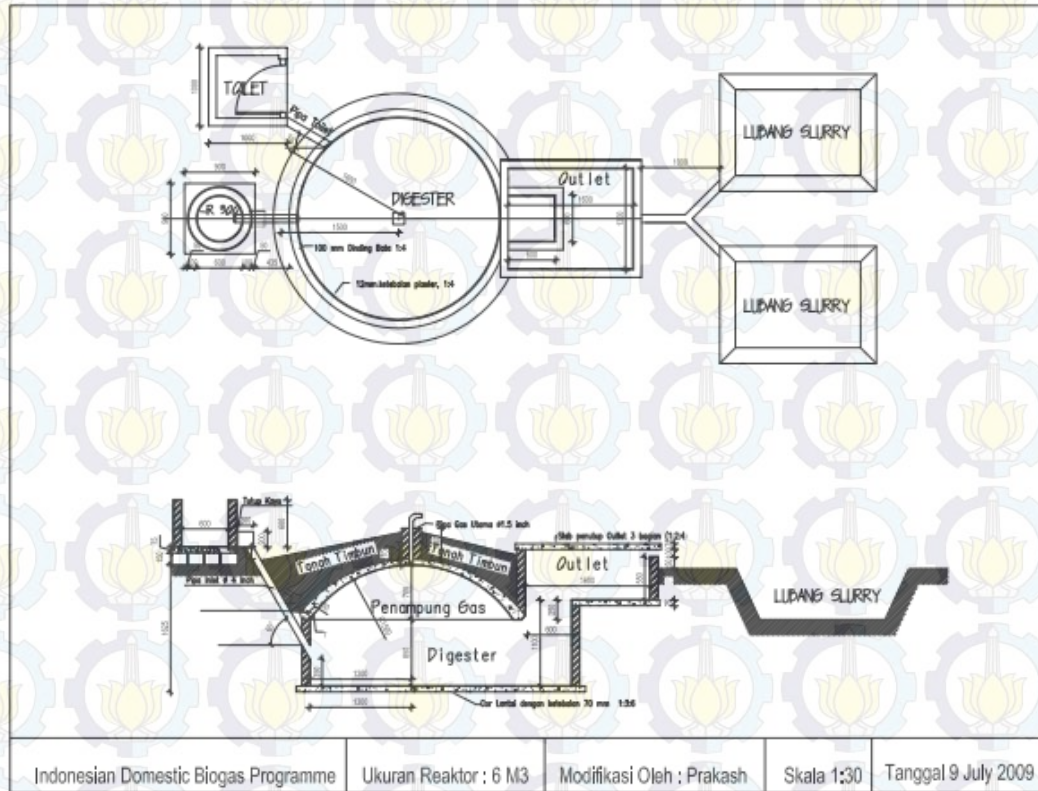
SECTION View:

- Shows a cross-section of the digester tank, which has a dome-shaped top.
- The inlet is at the top left, leading into the digester.
- The digester is filled with "Compacted earth" and contains a "Turret" mechanism.
- The outlet is at the bottom right, leading to a storage tank.
- The ground level is indicated on the left, and the water level is indicated on the right.
- Dimensions E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z are indicated for the section view.



Lampiran 2

Plant Bioreaktor IDBP Indonesia



Lampiran 3

Data Penggunaan biogas pada reaktor lama

Hari ke	Total penggunaan		Volume gas (lt)
	Jam	Skala	
1	4	55	6600
2	3,5	40	4800
3	4	30	3600
4	3	45	5400
5	4	45	5400
6	3,5	30	3600
7	4,5	40	4800
8	4,85	23	2760
9	3,5	31	3720
10	2	26	3120
11	3,88	26	3120
12	2,5	27	3240
13	4,3	35	4200
14	2,7	32	3840
15	3,75	36	4320
16	4,45	31	3720
17	4,5	26	3120
18	3,25	18	2160
19	2,5	18	2160
20	3	19	2280
21	2,5	24	2880
22	3	19	2280
23	2,75	23	2760
24	3,75	18	2160
25	2,5	18	2160
26	2,5	18	2160
27	3	17	2040
28	2,5	18	2160
29	3,7	27	3240
30	3,75	29	3480
31	3	25	3000
32	3,5	25	3000
33	3	30	3600
34	3	26	3120
35	4	25	3000

36	3	25	3000
37	3	27	3240
38	3,25	23	2760
39	3,5	23	2760
40	2	21	2520
41	3,88	17	2040
42	2,5	17	2040
43	4,3	18	2160
44	2,7	19	2280
45	3,75	17	2040
46	4,45	18	2160
47	4,5	17	2040
48	3,25	15	1800
49	2,5	14	1680
50	3	14	1680
51	2,5	13	1560
52	3	16	1920
53	2,75	12	1440
54	3,75	13	1560
55	2,5	12	1440
56	2,5	15	1800
57	3	13	1560
58	2,5	12	1440
59	2,7	12	1440
60	3	10	1200

Lampiran 4

Data Penggunaan biogas pada reaktor baru

Hari ke	Total penggunaan		Volume gas (lt)
	Jam	Skala	
1	3,5	35	4200
2	2,5	25	3000
3	1,5	20	2400
4	2	20	2400
5	2	25	3000
6	2,5	30	3600
7	1,75	30	3600
8	1,5	15	1800
9	2	25	3000
10	2	15	1800
11	1,5	15	1800
12	2	30	3600
13	2	25	3000
14	2	20	2400
15	1,75	20	2400
16	1,5	15	1800
17	2,5	25	3000
18	2	25	3000
19	3	30	3600
20	1,5	25	3000
21	2	20	2400
22	1,5	15	1800
23	1,5	15	1800
24	2	15	1800
25	1,5	15	1800
26	2	20	2400
27	2	30	3600
28	1,75	20	2400
29	2,5	30	3600

30	1,5	20	2400
31	2	15	1800
32	1,5	15	1800
33	1,75	15	1800
34	2	15	1800
35	2,5	15	1800
36	1,5	15	1800
37	2,25	20	2400
38	1,75	25	3000
39	2,5	30	3600
40	2,5	25	3000
41	1,5	25	3000
42	2,75	20	2400
43	1,5	25	3000
44	1,5	30	3600
45	2	30	3600
46	1,5	30	3600
47	1,5	25	3000
48	2	30	3600
49	1,5	25	3000
50	1,5	25	3000
51	1,5	30	3600
52	1,75	25	3000
53	2	25	3000
54	2	35	4200
55	1,5	15	1800
56	2,25	15	1800
57	1,75	10	1200
58	1,5	25	3000
59	1,75	20	2400
60	1,5	15	1800

Skala : skala manometer [cmH₂O]

Lampiran 5

a. Data Temperatur (Ambien)

pengukuran ke-	Hari ke-7 (°C)	Hari ke-21 (°C)	Hari ke-45 (°C)	Hari ke-60 (°C)
1	23	21	23	24
2	23	21	21	25
3	23	21	22	25
4	24	25	23	24
5	24	24	23	24
6	22	25	24	24
7	22	24	23	24
8	22	24	22	24
9	22	25	21	23
10	22	25	22	23
rata-rata	22,7	23,5	22,4	24

b. Data Temperatur bioreaktor diukur dari inlet

pengukuran ke-	Hari ke-7 (°C)	Hari ke-21 (°C)	Hari ke-45 (°C)	Hari ke-60 (°C)
1	21	20	21	21
2	21	21	21	21
3	20	21	21	22
4	21	22	21	22
5	21	22	21	22
6	20	22	20	22
7	21	22	21	21
8	20	22	21	21
9	20	22	21	21
10	21	22	21	21
rata-rata	20,6	21,6	20,9	21,4

c. Data Temperatur bioreaktor diukur dari outlet

pengukuran ke-	Hari ke-7 (°C)	Hari ke-21 (°C)	Hari ke-45 (°C)	Hari ke-60 (°C)	Hari ke-67 (°C)
1	23	23	23	23	23
2	23	23	23	23	23
3	23	23	23	23	23
4	23	22	23	23	23
5	23	23	23	23	23
6	23	22	23	23	23
7	23	22	23	23	23
8	23	22	23	23	23
9	22	22	23	23	22
10	21	23	22	23	23
rata-rata	22,7	22,5	22,9	23	22,9

Lampiran 6

Data Kandungan Total Solid dalam Bioreaktor Lama

Hari ke-	volume (m ³)	TS (kg/m ³)	Efektifitas
1	6,6	20,625	1,000
2	4,8	15,000	0,727
3	3,6	11,250	0,545
4	5,4	16,875	0,818
5	5,4	16,875	0,818
6	3,6	11,250	0,545
7	4,8	15,000	0,727
8	2,76	8,625	0,418
9	3,72	11,625	0,564
10	3,12	9,750	0,473
11	3,12	9,750	0,473
12	3,24	10,125	0,491
13	4,2	13,125	0,636
14	3,84	12,000	0,582
15	4,32	13,500	0,655
16	3,72	11,625	0,564
17	3,12	9,750	0,473
18	2,16	6,750	0,327
19	2,16	6,750	0,327
20	2,28	7,125	0,345
21	2,88	9,000	0,436
22	2,28	7,125	0,345
23	2,76	8,625	0,418
24	2,16	6,750	0,327
25	2,16	6,750	0,327
26	2,16	6,750	0,327
27	2,04	6,375	0,309
28	2,16	6,750	0,327
29	3,24	10,125	0,491
30	3,48	10,875	0,527
31	3	9,375	0,455
32	3	9,375	0,455
33	3,6	11,250	0,545
34	3,12	9,750	0,473
35	3	9,375	0,455
36	3	9,375	0,455
37	3,24	10,125	0,491
38	2,76	8,625	0,418
39	2,76	8,625	0,418
40	2,52	7,875	0,382
41	2,04	6,375	0,309
42	2,04	6,375	0,309
43	2,16	6,750	0,327
44	2,28	7,125	0,345
45	2,04	6,375	0,309
46	2,16	6,750	0,327
47	2,04	6,375	0,309
48	1,8	5,625	0,273
49	1,68	5,250	0,255
50	1,68	5,250	0,255
51	1,56	4,875	0,236
52	1,92	6,000	0,291
53	1,44	4,500	0,218
54	1,56	4,875	0,236
55	1,44	4,500	0,218
56	1,8	5,625	0,273
57	1,56	4,875	0,236
58	1,44	4,500	0,218
59	1,44	4,500	0,218
60	1,2	3,750	0,182

Lampiran 7

Data Kandungan Total Solid dalam Bioreaktor Baru

Hari ke-	Volume (m ³)	Total Solid (kg/m ³)	Efektifitas
1	4,2	13,125	1,000
2	3	9,375	0,714
3	2,4	7,500	0,571
4	2,4	7,500	0,571
5	3	9,375	0,714
6	3,6	11,250	0,857
7	3,6	11,250	0,857
8	1,8	5,625	0,429
9	3	9,375	0,714
10	1,8	5,625	0,429
11	1,8	5,625	0,429
12	3,6	11,250	0,857
13	3	9,375	0,714
14	2,4	7,500	0,571
15	2,4	7,500	0,571
16	1,8	5,625	0,429
17	3	9,375	0,714
18	3	9,375	0,714
19	3,6	11,250	0,857
20	3	9,375	0,714
21	2,4	7,500	0,571
22	1,8	5,625	0,429
23	1,8	5,625	0,429
24	1,8	5,625	0,429
25	1,8	5,625	0,429
26	2,4	7,500	0,571
27	3,6	11,250	0,857
28	2,4	7,500	0,571
29	3,6	11,250	0,857
30	2,4	7,500	0,571
31	1,8	5,625	0,429
32	1,8	5,625	0,429
33	1,8	5,625	0,429
34	1,8	5,625	0,429
35	1,8	5,625	0,429
36	1,8	5,625	0,429
37	2,4	7,500	0,571
38	3	9,375	0,714
39	3,6	11,250	0,857
40	3	9,375	0,714
41	3	9,375	0,714
42	2,4	7,500	0,571
43	3	9,375	0,714
44	3,6	11,250	0,857
45	3,6	11,250	0,857
46	3,6	11,250	0,857
47	3	9,375	0,714
48	3,6	11,250	0,857
49	3	9,375	0,714
50	3	9,375	0,714
51	3,6	11,250	0,857
52	3	9,375	0,714
53	3	9,375	0,714
54	4,2	13,125	1,000
55	1,8	5,625	0,429
56	1,8	5,625	0,429
57	1,2	3,750	0,286
58	3	9,375	0,714
59	2,4	7,500	0,571
60	1,8	5,625	0,429

Lampiran 8

Tahap Simulasi Type Monod Kinetic

a). Syntax program Monod Kinetic dengan iDynoMiCS v1.2.

```
/**
 * Project iDynoMiCS (copyright -> see Idynamics.java)
 */

package simulator.reaction.kinetic;

import org.jdom.Element;

import utils.ExtraMath;
import utils.XMLParser;

public class MonodKinetic extends IsKineticFactor {
    // Serial version used for the serialisation of the class
    private static final long serialVersionUID = 1L;

    private double _Ks;

    // Not called
    public MonodKinetic() {
    }

    // Not called
    public MonodKinetic(double Ks) {
        _Ks = Ks;
        nParam = 1;
    }

    public void init(Element defMarkUp) {
        _Ks = (new XMLParser(defMarkUp)).getParamDbl("Ks");
        nParam = 1;
    }

    public void initFromAgent(Element defMarkUp, double[] kineticParam, int
paramIndex) {
        kineticParam[paramIndex] = (new
XMLParser(defMarkUp)).getParamDbl("Ks");
    }

    public double kineticValue(double solute, double[] paramTable, int
index) {
        return solute/(paramTable[index]+solute);
    }

    public double kineticValue(double solute) {
        return solute/(_Ks+solute);
    }

    public double kineticDiff(double solute, double[] paramTable, int index)
{
        return paramTable[index]/ExtraMath.sq(paramTable[index]+solute);
    }
}
```



```

public double kineticDiff(double solute) {
    return _Ks/ExtraMath.sq(_Ks+solute);
}

// Not called
public double kineticMax() {
    return 1;
}

// Not called
public double kineticMax(double[] paramTable, int index) {
    return 1;
}
}

```

b). Hasil running program iDynoMiCS dengan Eclipse

```

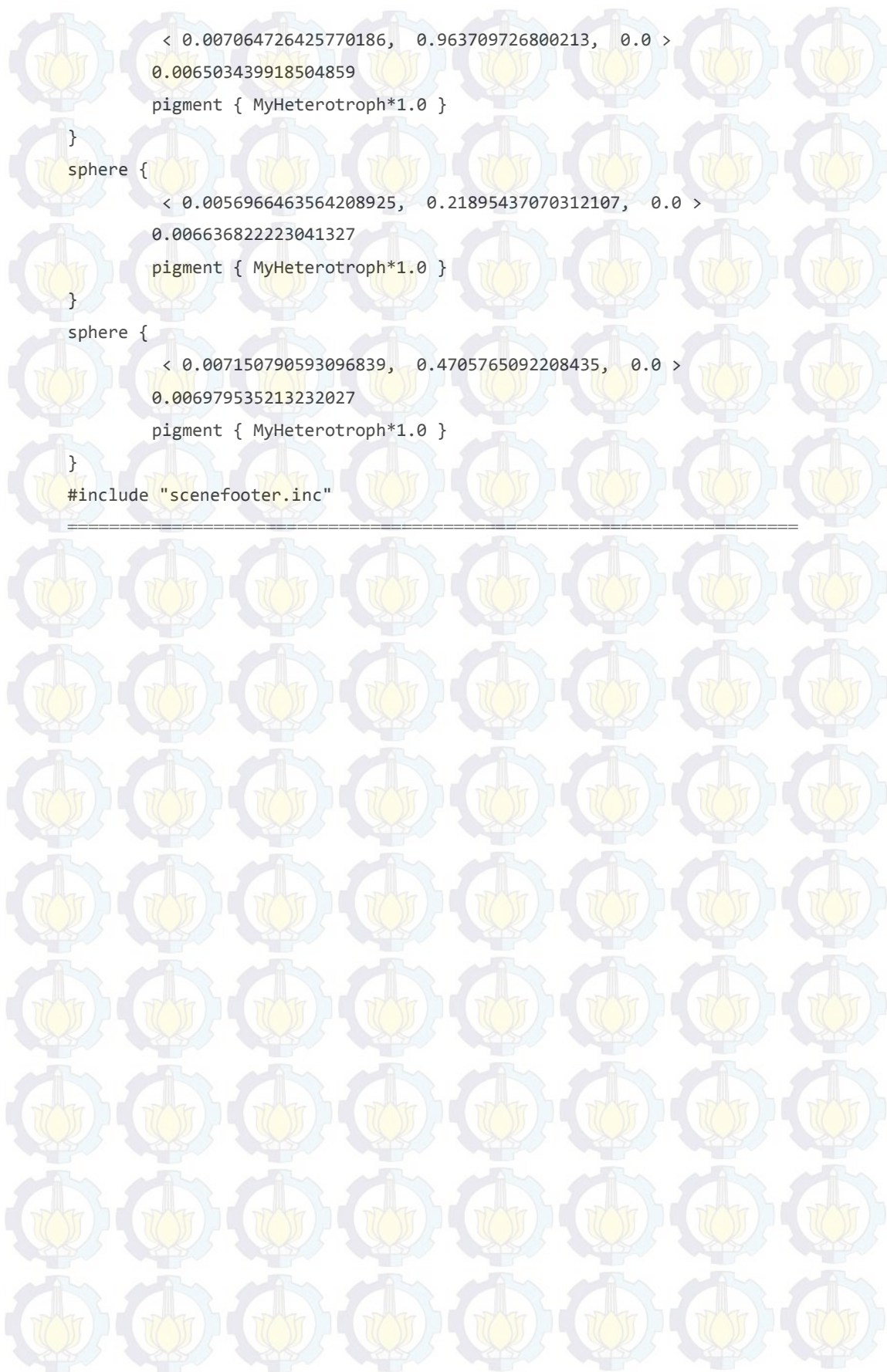
Initializing with protocol file:
C:\Users\Amie_chan\Documents\iDynoMiCSv1_1\resultss\examples\single_species_sing
le_substrate_2D(20131207_0857)\single_species_single_substrate_2D.xml
System initialisation:
    Simulator: Read in random number generator
rng test: -690592448
done
    World:
Setting initial 0.01
Setting initial 0.0
done
    Solutes:
        MyCOD (0)
        pressure (1)
done
    Reactions:
Reaction 0 is autocatalytic
        MyGrowthHeterotrophs (0)
done
    Solvers:
        solutes (0)
        pressure (1)
done
    Species:
        MyHeterotroph (0)
done
    Agent Grid:
Agent time step is... 0.05
checkgridsize
3675 grid elements, resolution: 8.0 micrometers
done
    Species progenitor:
Guessing MyHeterotroph initial mass at: 7539.84
done
    Species populations:
10.0 agents of species MyHeterotroph successfully created
done
done done in 1 sec
size of agentToKill list at beginning of the writeReportDeath: 0
System description finalized

```

c). Hasil perhitungan Eclipse ditampilkan oleh POV-ray

contoh : untuk iterasi hari 0

```
=====
#include "colors.inc"
#include "sceneheader.inc"
sphere {
    < 0.007469490628954784, 0.5332946191789785, 0.0 >
    0.006412172288115013
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
    < 0.008472123279509589, 0.2949597200602281, 0.0 >
    0.006019246668047535
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
    < 0.008772479995460459, 0.4875823951290955, 0.0 >
    0.0063577494651425965
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
    < 0.009659896195159747, 0.5709899586826441, 0.0 >
    0.006934764035044369
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
    < 0.005768648254061177, 0.625983974484028, 0.0 >
    0.006976106274528745
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
    < 0.006631059806041089, 0.5859713210251448, 0.0 >
    0.006356080704185125
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
    < 0.005617277550551816, 0.8988252264648154, 0.0 >
    0.0064520196351476105
    pigment { MyHeterotroph*1.0 }
}
sphere {
```

```
< 0.007064726425770186, 0.963709726800213, 0.0 >  
0.006503439918504859  
pigment { MyHeterotroph*1.0 }  
}  
sphere {  
  < 0.0056966463564208925, 0.21895437070312107, 0.0 >  
  0.00663682223041327  
  pigment { MyHeterotroph*1.0 }  
}  
sphere {  
  < 0.007150790593096839, 0.4705765092208435, 0.0 >  
  0.006979535213232027  
  pigment { MyHeterotroph*1.0 }  
}  
#include "scenefooter.inc"
```

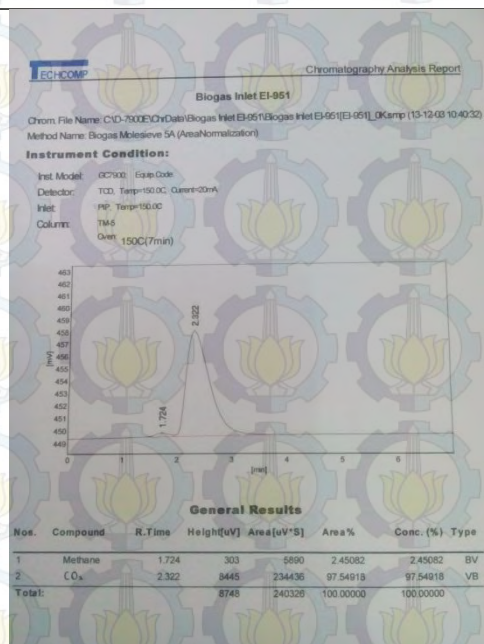
Lampiran 9

Data hasil simulasi dengan iDynoMiCS

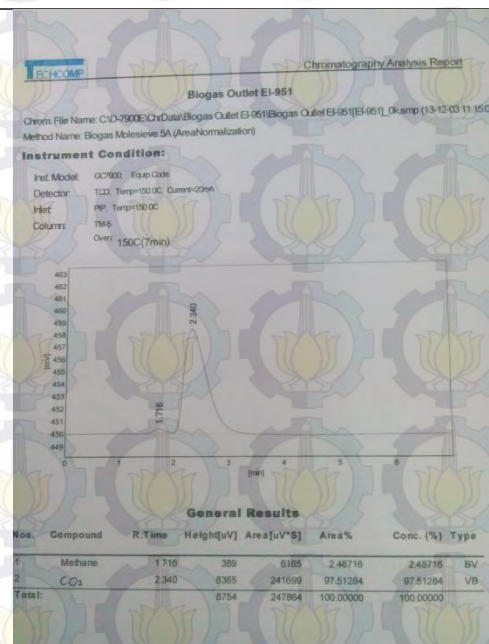
hari	Colony	Species	femtogram	gram	Laju mikroba (fg/h)
0	10	1000000	1000000	0,000000001	41,667
1	19	1900000	1900000	0,000000002	37,500
2	40	4000000	4000000	0,000000004	87,500
3	77	7700000	7700000	0,000000008	154,167
4	158	15800000	15800000	0,000000016	337,500
5	284	28400000	28400000	0,000000028	525,000
6	417	41700000	41700000	0,000000042	554,167
7	568	56800000	56800000	0,000000057	629,167
8	706	70600000	70600000	0,000000071	575,000
9	841	84100000	84100000	0,000000084	562,500
10	986	98600000	98600000	0,000000099	604,167
11	1121	112100000	112100000	0,000000112	562,500
12	1273	127300000	127300000	0,000000127	633,333
13	1434	143400000	143400000	0,000000143	670,833
14	1580	158000000	158000000	0,000000158	608,333
15	1726	172600000	172600000	0,000000173	608,333
16	1858	185800000	185800000	0,000000186	550,000
17	2000	200000000	200000000	0,000000200	591,667
18	2133	213300000	213300000	0,000000213	554,167
19	2272	227200000	227200000	0,000000227	579,167
20	2419	241900000	241900000	0,000000215	612,500
21	2546	254600000	254600000	0,000000255	529,167
22	2694	269400000	269400000	0,000000269	616,667
23	2853	285300000	285300000	0,000000285	662,500
24	3007	300700000	300700000	0,000000301	641,667
25	3138	313800000	313800000	0,000000314	545,833
26	3276	327600000	327600000	0,000000328	575,000
27	3419	341900000	341900000	0,000000342	595,833
28	3560	356000000	356000000	0,000000356	587,500
29	3704	370400000	370400000	0,000000370	600,000
30	3850	385000000	385000000	0,000000385	608,333
31	3966	396600000	396600000	0,000000397	483,333
32	4047	404700000	404700000	0,000000405	337,500
33	4086	408600000	408600000	0,000000409	162,500

Lampiran 10

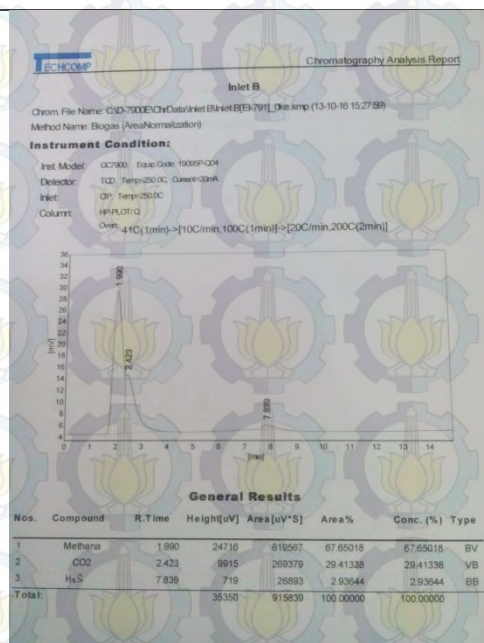
Data Hasil Uji GC



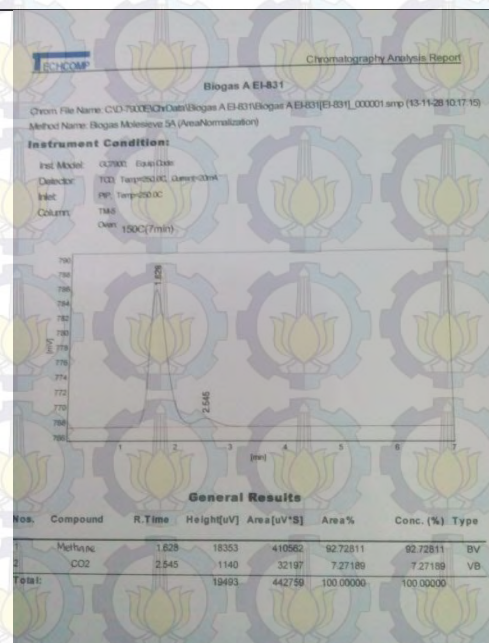
1



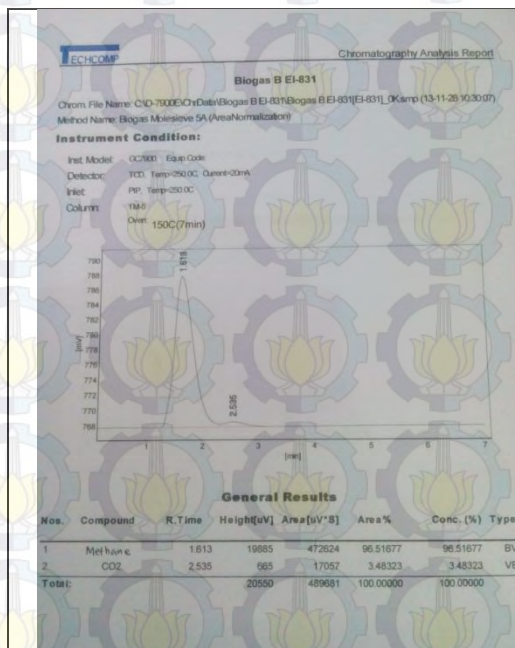
7



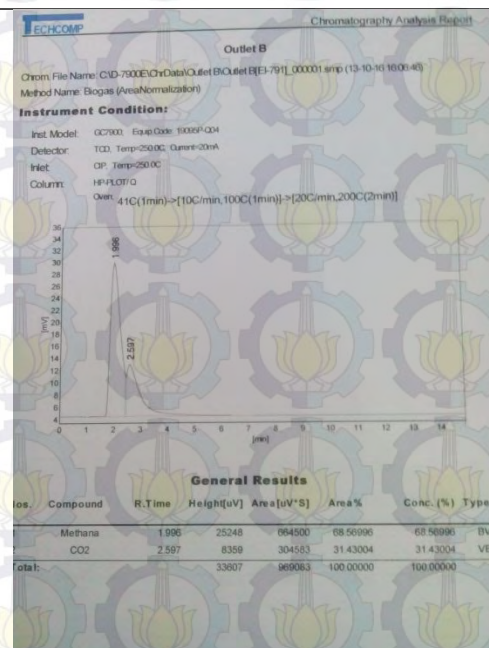
15



21



32



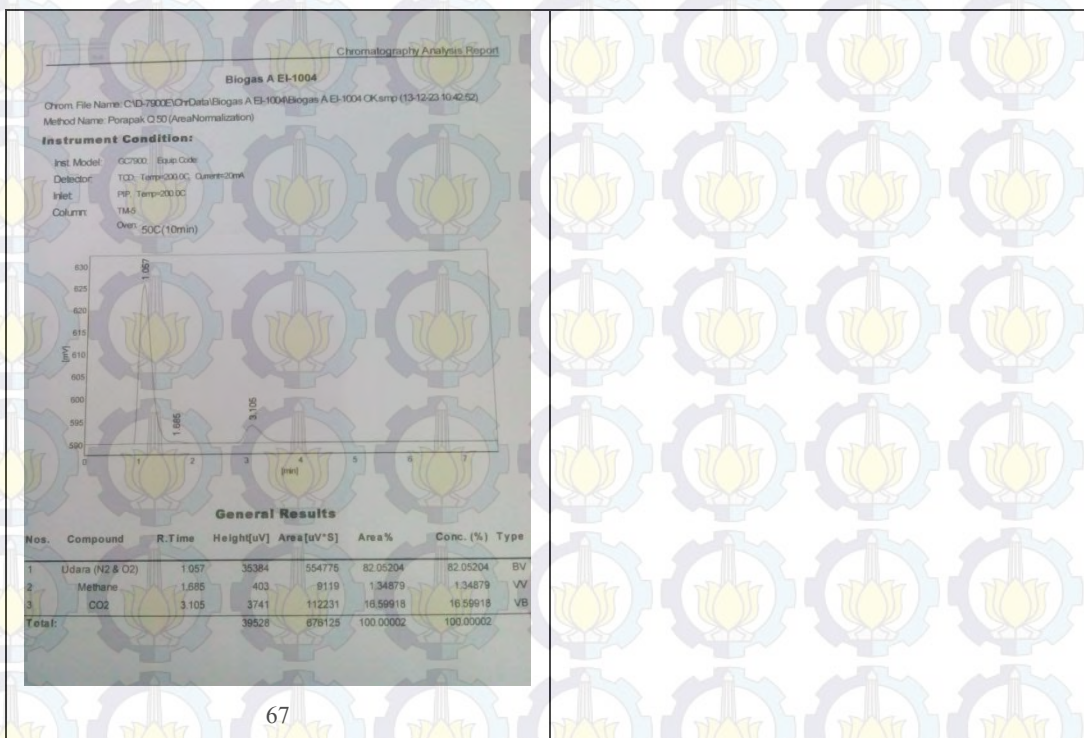
45



51



60



67



Pencatatan penggunaan gas setiap hari (kegiatan ini dibawah pengawasan teknisi & QC BIRU)



Teknisi mencontohkan cara pengisian form penggunaan gas kepada pengguna (tengah) yang dilakukan oleh teknisi (kiri) dengan diawasi oleh QC BIRU (kanan)

Biografi Penulis



Penulis memulai jenjang pendidikan strata satu di Universitas Airlangga dengan gelar Sarjana Sains (S.Si) pada tahun 2012 di bidang ilmu Fisika, dan tertantang untuk melanjutkan pendidikan sesuai dengan disiplin ilmu di Program Studi Pascasarjana S2 Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya hingga pertengahan tahun 2014.

Penulis mengawali penelitian di bidang Energi Terbarukan pada akhir tahun 2012, dengan melakukan penelitian bersama/*Joint Research* dengan *student exchange* sebagai tindak lanjut dari program kerjasama Departemen Teknik Fisika dengan *Carl von Ossietzky Universitaat Oldenburg-Germany*. Tergabung dalam Kelompok Studi KSE (Konversi dan Konservasi Energi) dan aktif melakukan penelitian tentang Energi Baru dan Terbarukan (EBT).

Penelitian dilakukan di daerah Nongkojajar Pasuruan sebagai pusat pengembangan teknologi biogas di Jawa Timur yang bekerjasama dengan KPSP (Koperasi Peternakan Sapi Perah) Setia Kawan dan BIRU (Biogas Rumah) yang telah dirintis sejak tahun 2009 hingga sekarang dan telah menghasilkan laporan dalam beberapa publikasi ilmiah.

Berbagai penelitian tentang potensi energi terbarukan di *rural area* atau pedesaan, menjadi fokus utama bagi penulis untuk terus aktif melakukan berbagai riset dalam rangka mengamalkan ilmu dan menyumbangkan pemikiran serta ide untuk turut serta mengoptimalkan sumber-sumber energi terbarukan di Indonesia. Semoga ilmu yang diperoleh memberikan manfaat bagi bangsa serta dapat dipertanggung jawabkan sesuai dengan disiplin keilmuan.